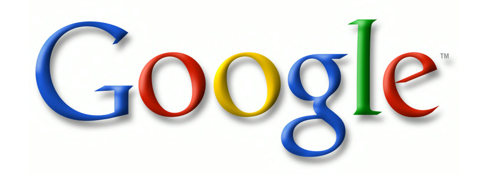
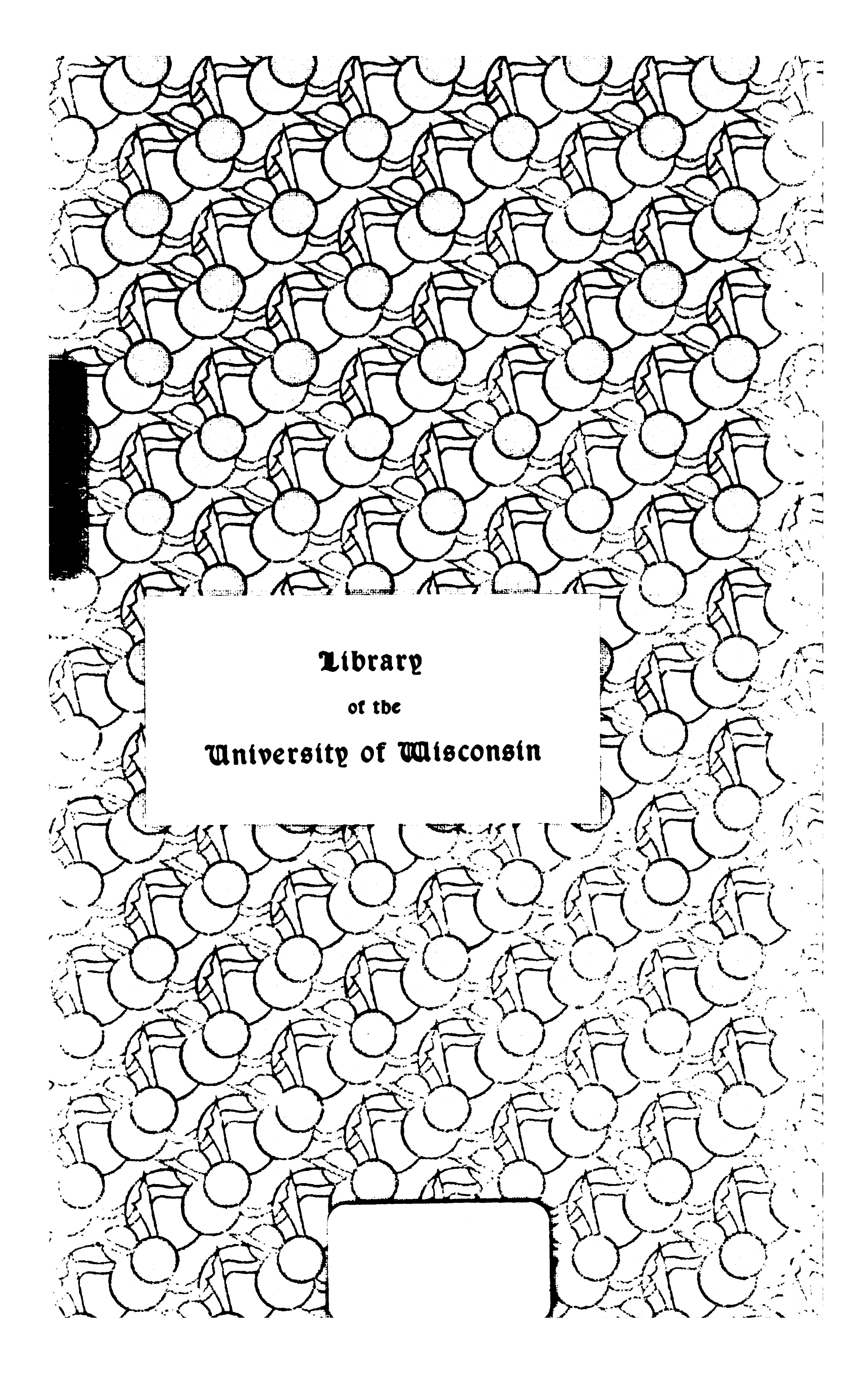



Handbuch
Eisenhüttenkunde
von
Ledebur





UNDE.

BENUTZUNG

T

IBERG IN SACHSEN.

UNDE.

HANDBUCH
DER
EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET

VON

A. LEDEBUR,

GEHEIMEM BERGRAT UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

FÜNFTE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

ERSTE ABTEILUNG:
EINFÜHRUNG IN DIE EISENHÜTTENKUNDE.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1906.

Inhaltsverzeichnis.

Erste Abteilung.

Einführung in die Eisenhüttenkunde.

ERSTE ABTEILUNG.

EINFÜHRUNG

IN DIE

EISENHÜTTENKUNDE.

I. Einteilung des Handelseisens, Geschichtliches und Statistisches.

1. Einteilung und Benennungen.

Die Lehre von der gewerblichen Darstellung des Eisens bildet den Gegenstand der Eisenhüttenkunde. Auch die Besprechung der Eigenschaften des Eisens, soweit sie für dessen Darstellung und Verwendung Bedeutung besitzen, gehört in den Bereich dieser Wissenschaft.

In den Gewerben und im täglichen Leben verbindet man jedoch einen etwas anderen Begriff mit dem Ausdrucke Eisen als in der Chemie. Diese lehrt uns das Eisen als ein einfaches Metall, ein Element, kennen, welches keine anderen Bestandteile weiter enthält; alles gewerblich dargestellte und in den Handel gebrachte Eisen dagegen und somit auch alles Eisen, welches uns im täglichen Leben begegnet, sei es als Stoff für weitere Verarbeitung, sei es als fertiger Gebrauchsgegenstand, enthält neben jenem reinen Eisen als dem Hauptbestandteile eine kleinere oder gröfsere Menge fremder Körper, welche ihm zum Teil absichtlich, teils auch unabsichtlich bei der Darstellung zugeführt wurden und seine Eigenschaften beeinflussen. Der wichtigste dieser fremden Körper, welcher in jedem Handelseisen, wenn auch bisweilen nur in sehr geringer Menge, sich findet, ist der Kohlenstoff; andere häufige Begleiter des Eisens sind Silizium, Phosphor, Schwefel, Mangan, Kupfer; minder wichtig, obschon in kleinen Mengen fast immer nachweisbar, sind Nickel und Kobalt; mitunter finden sich Arsen, Antimon, Chrom, Titan, Vanadin und einige andere Körper.

Eisenarten mit abweichendem Gehalte an diesen fremden Körpern zeigen oft stärkere Abweichungen in ihrem Äufseren und ihren sonstigen Eigenschaften als manche ganz verschiedene Metalle. Man trennt demnach zunächst das gesamte Handelseisen in zwei grofse Gruppen: **Roheisen** mit einer reichlicheren Menge jener fremden Bestandteile und **schmiedbares Eisen** mit einer geringeren Menge. Die beiden Eisengruppen unterscheiden sich teils durch die Verschiedenheit ihrer Schmelztemperaturen, teils durch ihr Verhalten gegenüber mechanischen Einflüssen sowohl in gewöhnlicher Temperatur als im erhitzten Zustande. Roheisen schmilzt in

weniger hoher Temperatur und mit weniger Aufwand von Wärme als schmiedbares Eisen und geht, ohne zuvor zu erweichen, aus dem festen in den flüssigen Zustand über, wenn die Schmelztemperatur erreicht ist; ebenso rasch vollzieht sich der Vorgang des Erstarrens, und in allen unterhalb des Schmelzpunkts (Erstarrungspunkts) liegenden Temperaturen ist das Roheisen spröde, d. h. es erträgt keine Änderungen seiner Form, ohne zu zerbrechen. Es mufs daher geschmolzen und durch Eingiefsen in Formen verarbeitet werden, wenn eine Formveränderung vorgenommen werden soll. Schmiedbares Eisen erweicht beim Erhitzen allmählich, bevor es völlig flüssig wird, und ist in diesem Zustande, wie die Benennung sagt, schmiedbar, d. h. unter mechanischen Einwirkungen bildsam oder geschmeidig; aber seine Schmelztemperatur liegt höher als die des Roheisens und steigt überhaupt, wenn sein Gehalt an fremden Bestandteilen abnimmt. Auch in gewöhnlicher Temperatur ist das schmiedbare Eisen erheblich weniger spröde als das Roheisen, und die an Fremdkörpern ärmeren Sorten schmiedbaren Eisens besitzen sogar ein ziemlich hohes Mafs von Geschmeidigkeit.

Sofern neben Kohlenstoff keine erheblichen Mengen von fremden Körpern im Eisen zugegen sind, liegt die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 2,6 v. H.; finden sich neben Kohlenstoff aber andere Körper, insbesondere Metalloide (Silizium, Phosphor, Schwefel), im Eisen vor, so beeinträchtigen diese ebenfalls die Schmiedbarkeit, das Eisen verliert schon bei einem entsprechend niedrigeren Kohlenstoffgehalte seine Schmiedbarkeit und wird Roheisen.

Eine genaue Feststellung der Grenze ist auch deshalb nicht möglich, weil die Schmiedbarkeit bei Zunahme des Gehalts an Fremdkörpern nicht plötzlich aufhört, sondern allmählich mehr und mehr abnimmt und zum Teil auch von der Art der Behandlung abhängt. Im übrigen sind Übergangsstufen zwischen Roh- und schmiedbarem Eisen ziemlich selten; sie sind nur für wenige Zwecke verwendbar, und man stellt sie deshalb nicht oder höchst selten absichtlich dar. Die meisten Roheisenarten enthalten mehr fremde Körper als 2,6 v. H., die meisten Arten schmiedbaren Eisens erheblich weniger.

Beide Eisengruppen zerfallen wieder in mehrere Gattungen.

Manche Roheisenarten besitzen die Eigentümlichkeit, auf Grund später zu erörternder Ursachen ihren Kohlenstoff beim Erstarren zum grofsen Teile als selbständigen Körper in Form von Graphit auszuscheiden, welcher zwischen den Absonderungsflächen des Gefüges sich einlagert, der Bruchfläche des Roheisens eine graue Farbe erteilend. Solches Roheisen heifst graues Roheisen. Bei anderen Roheisenarten verharrt der Kohlenstoffgehalt auch nach dem Erstarren im sogenannten „gebundenen“ Zustande, d. h. als ein dem Auge nicht ohne chemische Zerlegung des Roh-

eisens erkennbarer, auf mechanischem Wege nicht von dem Eisen trennbarer Bestandteil. Das Roheisen besitzt in diesem Falle auf der Bruchfläche weifse Farbe und wird demzufolge weifses Roheisen genannt. In noch anderen Fällen stellt der Eisenhüttenmann für gewisse Zwecke seines Betriebes kohlenstoffhaltige Legierungen zwischen Eisen und Mangan dar, welche zwar in ihrem Aussehen und ihren Eigenschaften dem weifsen Roheisen ähnlich sind und in der Tat an das manganhaltige weifse Roheisen unmittelbar sich anreihen, wegen ihres hohen Mangangehaltes aber, der mitunter mehr als 80 v. H. beträgt, nicht dem Roheisen im eigentlichen Sinne zugezählt werden können und Eisenmangane oder Ferromangane genannt werden.

Ist das Roheisen — insbesondere das graue Roheisen — durch Eingiefsen in Formen zu Gebrauchsgegenständen verarbeitet (Öfen, Säulen, Gittern, Röhren, Maschinenteilen u. a. m.), so wird es als Stoff dieser Gegenstände Gufseisen genannt[1]).

Bei der Einteilung des schmiedbaren Eisens kann man zwei verschiedene Gesichtspunkte als mafsgebend betrachten: den Entstehungszustand — ob flüssig oder nichtflüssig — und das abweichende mechanische Verhalten.

Manche Arten schmiedbaren Eisens erfolgen bei ihrer Darstellung in einer Temperatur, welche unterhalb ihres Schmelzpunkts, jedoch höher liegt als die Schmelztemperatur der miterfolgenden Schlacke. Sie bestehen aus zahlreichen Eisenkörnern oder Eisenkristallen, welche zusammenschweifsen, aber stets mehr oder minder reichliche Mengen flüssiger Schlacke zwischen sich eingeschlossen enthalten. Um von dieser befreit zu werden, erfordert solches Eisen eine umfängliche mechanische Bearbeitung in jener Temperatur, in welcher das Eisen einen weichen, bildsamen Zustand annimmt und „schweifsbar“ wird, d. h. in welcher getrennte Stücke sich durch Druck oder Hammerschläge zu einem Ganzen vereinigen lassen, während die eingemengte und in jener Temperatur flüssige Schlacke unter dem Einflusse der erwähnten Bearbeitung aus dem Eisen herausgequetscht wird. Solches Eisen heifst Schweifseisen. Eine vollständige Entfernung aller eingemengten Schlacke ist jedoch auf jenem Wege niemals zu erreichen, und alles Schweifseisen ist demnach schlackenhaltig[2]).

---

[1]) Man spricht von gufseisernen Öfen, Säulen usw. Die Bezeichnung bleibt jedoch nur so lange gültig, als jene Gegenstände auch tatsächlich für den Gebrauch bestimmt sind. Werden sie aus irgendeiner Ursache ihrer Bestimmung entzogen und für die Wiederverarbeitung benutzt, so nennt man das Eisen Bruch- oder Alteisen. Vom chemischen Standpunkte ist dieses nichts anderes als Roheisen; auch die Verfahren der Verarbeitung sind im wesentlichen die nämlichen.

[2]) Ein Bild des Entstehungsvorganges des Schweifseisens und seiner Reinigung von Schlacke kann man sich machen, wenn man an die Entstehung von Butter aus Milch denkt. Wie die Butter im teigigen Zustande in Form zusammenballender Körner von der flüssig bleibenden Buttermilch sich sondert, aber zunächst noch reichliche Mengen der letzteren eingeschlossen enthält und nur durch anhaltendes Kneten oder Drücken davon befreit werden kann, scheidet sich das Schweifseisen von der flüssigen Schlacke und wird von dieser durch mechanische Bearbeitung gereinigt. Die Reinigung der Butter aber ist leichter als die des Eisens zu bewirken, weil sie in gewöhnlicher Temperatur vorgenommen wird

Andere Arten schmiedbaren Eisens erfolgen im flüssigen Zustande. Eine Einmengung von Schlacke ist hierdurch ausgeschlossen, da die flüssige, spezifisch leichtere Schlacke sich von dem flüssigen Eisen sondert. Solches Eisen ist schlackenfrei und wird Flufseisen genannt. Während das Schweifseisen, wie erwähnt, aus einzelnen, getrennt entstandenen und dann erst durch Schweifsung vereinigten Körnern besteht, welche keineswegs immer ganz gleichartig zusammengesetzt sind, bildet das erstarrte Flufseisen von vorn herein ein einziges, im Ganzen erfolgendes Stück. Sowohl der fehlende Schlackengehalt als dieser letzterwähnte Umstand bedingen wesentliche Unterschiede in dem Verhalten beider Eisenarten.

Schweifseisen und Flufseisen sind nach Mafsgabe jenes verschiedenen Entstehungszustandes deutlich unterschieden. Aber erst seit der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts stellt man überhaupt Flufseisen gewerblich dar; eine hervorragende Bedeutung hat die Flufseisenerzeugung erst in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts erlangt. Für eine andere Einteilung des schmiedbaren Eisens in zwei Gattungen bildete früher ganz allgemein und bildet jetzt noch vielfach das verschiedene Mafs der Festigkeit und Härte das Unterscheidungsmerkmal. Das festere, härtere, zugleich aber sprödere schmiedbare Eisen heifst Stahl, das weniger feste, weniger harte, aber dafür geschmeidigere, zähere Eisen heifst Schmiedeeisen (häufig kurzweg Eisen)[1]. Neueren Vorschlägen gemäfs soll Flufseisen als Stahl (Flufsstahl) bezeichnet werden, wenn seine Zugfestigkeit im ausgeglühten Zustande gröfser als 50 kg auf 1 qmm ist, Schweifseisen als Schweifsstahl, wenn seine Festigkeit im ausgeglühten Zustande mehr als 42 kg auf 1 qmm beträgt[2].

Das abweichende Verhalten des Stahls und Schmiedeeisens beruht auf der Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung, insbesondere des Kohlenstoffgehalts: der Stahl ist kohlenstoffreicher, das Schmiedeeisen kohlenstoffärmer. Sind neben Kohlenstoff keine Fremdkörper in erheblichen Mengen zugegen, so liegt die Grenze bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 0,5 v. H.; bei der Anwesenheit anderer Fremdkörper (Mangan, Chrom) kann das Metall schon mit niedrigerem Kohlenstoffgehalte die Eigenschaften des Stahls annehmen.

Nachstehende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die sämtlichen genannten Gruppen und Gattungen:

---

und man sich dabei einer zweiten Flüssigkeit, des Wassers, zum Auswaschen bedienen kann.

[1]) Auch die deutliche Härtbarkeit des kohlenstoffreicheren schmiedbaren Eisens, d. h. die Eigenschaft, beim Ablöschen aus Rotglut eine deutliche Steigerung seines Härtegrades zu erfahren, betrachtete man früher als ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal des (deutlich härtbaren) Stahls vom (nicht deutlich härtbaren) Schmiedeeisen. Der Ausdruck „deutlich“ ist jedoch unbestimmt, und neuere Untersuchungen haben gelehrt, dafs die Härte auch des kohlenstoffärmsten Eisens beim Ablöschen zunimmt.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 1412.

I. Roheisen.

Nicht schmiedbar, spröde, beim Erhitzen plötzlich schmelzend. Gehalt an Kohlenstoff (Silizium, Phosphor u. a.) mindestens 2,6 v. H.

1. Graues Roheisen.	*2. Weifses Roheisen.*	*3. Eisenmangane.*
Ein Teil des Kohlenstoffs wird beim Erkalten graphitisch ausgeschieden. Farbe der Bruchfläche grau. In der Gießerei zu Gußwaren verarbeitet heißt das graue Roheisen Gufseisen.	Der Kohlenstoff ist gebunden. Farbe der Bruchfläche weifs. Härter, spröder als graues Roheisen.	Kohlenstoffhaltige Eisenmanganlegierungen mit reichem Mangangehalte. Der Kohlenstoff ist gebunden. Farbe der Bruchfläche weifs oder gelblich. Sehr spröde.

II. Schmiedbares Eisen.

Schmiedbar und in gewöhnlicher Temperatur weniger spröde als Roheisen. Beim Erhitzen allmählich bis zum Schmelzen erweichend, Gehalt an Kohlenstoff weniger als 2,6 v. H.

1. Schweifseisen und Schweifsstahl.		*2. Flufseisen und Flufsstahl.*	
Im nichtflüssigen, teigartigen Zustande erfolgend. Schlackenhaltig und aus zahlreichen, einzeln entstandenen, zusammengeschweißten Eisenkörnern bestehend.		Im flüssigen Zustande erfolgend. Schlackenfrei.	
a) Schweifsstahl.	b) Schweifseisen.	a) Flufsstahl.	b) Flufseisen.
Kohlenstoffreicher (0,6 v. H. und darüber); fest, hart.	Kohlenstoffärmer, weniger fest und weniger hart, aber zäher und geschmeidiger als Schweißstahl.	Kohlenstoffreicher (0,6 v. H. und darüber); fest, hart.	Kohlenstoffärmer, weniger fest und weniger hart, aber zäher und geschmeidiger als Flußstahl.

Vorstehende Einteilung, deren Grundsätze im Jahre 1876 bei Gelegenheit der Weltausstellung zu Philadelphia durch einen Ausschufs hervorragender Eisenhüttenleute der bedeutendsten eisenerzeugenden Länder vereinbart wurden, ist seitdem in Deutschland für amtliche Zwecke (z. B. bei Zollerhebung) und in wissenschaftlichen Arbeiten üblich geworden. Nicht verkennen läfst sich jedoch, dafs, so bestimmt auch die Grenze zwischen Schweifseisen und Flufseisen gezogen ist, der Unterschied zwischen Stahl und Eisen (Schmiedeeisen) nicht immer deutlich sich erkennen läfst. Die Auslegung des Wortes „Härte“ ist nicht immer gleich. Verschiedene Forscher benutzen verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Härtegrades; eine Vereinbarung darüber fehlt. Hinsichtlich der Festigkeit als Unterscheidungsmerkmal aber kommt in Betracht, dafs ein und dasselbe schmiedbare Eisen ziemlich abweichende Festigkeit zeigen kann, je nachdem es in dicken oder dünnen Stücken geprüft wird oder je nachdem es einer umfänglicheren oder weniger umfänglichen Bearbeitung zuvor unterworfen worden ist. Die hieraus sich ergebende Schwierigkeit der Unterscheidung von Stahl und Eisen wird aber noch dadurch erhöht, dafs man in Grofsbritannien, Nordamerika, Frankreich und anderen Ländern seit Einführung der neueren Verfahren für Flufseisenerzeugung sich

gewöhnt hat, mit dem Ausdrucke „Stahl“ *(steel, acier)* alles im flüssigen Zustande erfolgte schmiedbare Eisen, also alles Flufseisen ohne Ausnahme zu bezeichnen, zugleich aber auch für das kohlenstoffreichere Schweifseisen die seit jeher übliche Benennung „Stahl“ beibehalten hat, und dafs man auch in Deutschland die Benennung „Stahl“ häufiger in diesem weiteren Sinne gebraucht als in der Beschränkung auf das härtere und festere Metall. Zahlreiche deutsche Eisenhütten führen den Namen Stahlwerk, obgleich sie nur weiches, kohlenstoffarmes Flufseisen erzeugen; der Name Flufseisenwerk ist ganz ungebräuchlich. Die Erklärung hierfür liefern verschiedene Umstände. Lange Zeit hindurch erzeugte man nur Flufsstahl, nicht auch weiches Flufseisen; auch nach Erfindung der neueren Verfahren lernte man erst allmählich das letztere darstellen, dessen Schmelztemperatur noch höher liegt als die des Stahls. So war es bereits üblich geworden, alles im flüssigen Zustande erfolgte schmiedbare Eisen „Stahl“ zu nennen, als man dazu überging, durch die gleichen Verfahren auch das weichere Metall darzustellen. Die Versuchung aber, den Namen „Stahl“ auch für letzteres beizubehalten, wurde teils durch die gröfsere Kürze des Wortes, teils durch die Tatsache nahegelegt, dafs man sich seit Jahrhunderten gewöhnt hat, mit jenem Ausdrucke den Begriff von etwas Vorzüglicherem, Wertvollerem zu verbinden. Noch heute pflegt der Laie den Stahl als eine in jeder Beziehung vorzüglichere Abart des Eisens zu betrachten, und manche lächerliche Anwendung des Wortes „Stahl“ beruht auf dieser Anschauung (Stahlquelle, Stahlpillen u. a.).

Es folgt hieraus, dafs der Begriff des Ausdrucks „Stahl“ in jetziger Zeit unsicher ist, wenn man nicht die näheren Umstände kennt, unter welchen er Anwendung fand. Der besprochenen Auslegung gemäfs wird in folgendem die Bezeichnung „Stahl“ nur dann benutzt werden, wenn damit ein kohlenstoffreicheres, deshalb festeres und härteres schmiedbares „Eisen“ gemeint ist, während die Benennung „Eisen“ im allgemeineren Sinne sämtliche Eisenarten umfafst.

2. Geschichtliches.

Nur in kurzen Zügen kann hier die Entwicklung des Eisenhüttenbetriebes geschildert werden. Über die Erfindung und Vervollkommnung der einzelnen Verfahren der Eisendarstellung werden bei deren Besprechung auch die erforderlichen geschichtlichen Angaben gemacht werden; ein gründlicheres Studium der Geschichte des Eisens ermöglichen die am Schlusse des Abschnittes unter Literatur genannten Schriften.

Die Anfänge der Eisendarstellung sind dunkel und reichen bei den meisten Völkern bis in die vorgeschichtliche Zeit hinauf. Entgegen einer bis vor wenigen Jahrzehnten allgemein verbreiteten, jetzt noch vielfach herrschenden Annahme, dafs der Bekanntschaft mit dem Eisen regelmäfsig eine sogenannte Bronzezeit vorausgegangen sei, unterliegt es neueren Forschungen zufolge keinem Zweifel, dafs in Ländern, wo reine Eisenerze vorkamen, auch das Eisen schon vor der Bronze und in der Regel auch vor dem Kupfer

bekannt gewesen ist. Denn die Eisendarstellung in ihrer einfachsten Form, wie sie noch heute bei manchen Naturvölkern betrieben wird, bedarf einfacherer Vorrichtungen und Arbeiten, als die Abscheidung des Kupfers aus den meisten seiner Erze; Bronze aber ist, wie bekannt, eine Legierung aus zwei Metallen, Kupfer und Zinn, welche nur ausnahmsweise in unmittelbarer Nachbarschaft vorkommen. Die Bronzedarstellung wurde demnach erst möglich, nachdem man umfassendere Erfahrungen in der Darstellung und Verarbeitung der Metalle erlangt und Handelsbeziehungen angeknüpft hatte, welche den Bezug mindestens eines der beiden Metalle von auswärts ermöglichten.

Dafs man stählerne Werkzeuge zur Bearbeitung von Stein, Holz, für den Ackerbau und andere Zwecke bei den Kulturvölkern des Altertums schon benutzt hatte, noch bevor die Verwendung des Eisens und Stahls für Waffen und Rüstungen allgemeiner wurde, ist unwiderleglich dargetan[1]). Nicht allein ist es unmöglich, der Bronze einen solchen Härtegrad zu verleihen, dafs sie zur Bearbeitung jener harten Gesteine tauglich wurde, welche vielfach den Stoff für gewaltige Bauten des Altertums bildeten; auch Funde eiserner Werkzeuge und Geräte liefern den Beweis für jene Tatsache. Einer der merkwürdigsten Funde dieser Art ist ein Werkzeug, welches beim Lossprengen einiger Steinlagen der grofsen Pyramide des Cheops von dem Engländer Hill im Jahre 1837 in einer inneren Steinfuge angetroffen wurde und im britischen Museum aufbewahrt wird[2]).

Wo aber die Bronze bekannt wurde, mag sie für die Verwendung des häuslichen Lebens, für Anfertigung von Schmuck und Zierat das Eisen vielfach in den Hintergrund gedrängt haben. Denn ihre Eigenschaften sind unleugbar glänzender als die des Eisens und Stahls: sie ist ausgezeichnet durch prächtige Farbe, Widerstandsfähigkeit gegen die Einflüsse der Feuchtigkeit und ist durch Giefsen verhältnismäfsig leicht verarbeitbar. Dem Eisen des Altertums mangelte diese Eigenschaft, denn nur Schweifseisen vermochte man damals im regelmäfsigen Betriebe zu erzeugen. Je mehr aber der Bedarf der Völker an Metall überhaupt stieg, desto wichtiger mufste ihnen das Eisen werden, welches seines verbreiteten Verkommens halber zur Deckung eines Massenbedarfs an Metall allein in Frage kommen konnte.

Jedenfalls gebührt nicht einem einzigen Manne oder Volke das Verdienst, das Eisen zuerst aus seinen Erzen abgeschieden und die Erfindung über die Erde verbreitet zu haben, sondern es wurde, wie noch jetzt vorhandene Spuren erkennen lassen, in verschiedenen Gegenden bereits von Volksstämmen dargestellt, welche gegenseitig von ihrem Dasein keine Ahnung hatten. Noch heute werden durch Reisende mitunter Völker angetroffen, welche, obwohl von dem Verkehre mit der Aufsenwelt abgeschlossen, doch mit der Eisengewinnung in ihrer einfachsten Form sich vertraut zeigen, mit der Bronze oder dem Kupfer aber unbekannt sind.

---

[1]) Vergleiche hierüber Beck, Geschichte des Eisens, Band 1, Seite 83, 128, 216, 365 u. a.

[2]) Abgebildet in Becks Geschichte des Eisens, Band 1, Seite 85.

In den Schriften der meisten geschichtlichen Völker lassen sich Spuren ihrer Bekanntschaft mit dem Eisen bis zu den Anfängen aller schriftlichen Überlieferung hinauf verfolgen. In den Büchern Mosis wird mehrfach das Eisen erwähnt, und Thubalkain, ein Abkömmling Kains im sechsten Gliede, wird ein „Meister in Erz und allerlei Eisenwerk“ genannt — ein Beweis, dafs der Erzähler selbst die Kenntnis des Eisens als uralt betrachtet; da aber jene Bücher jedenfalls bald nach dem Auszuge der Juden aus Ägypten (1600 v. Chr.) geschrieben wurden, läfst sich folgern, dafs auch dort, wo die Juden sich 430 Jahre lang aufhielten, das Eisen um jene Zeit schon bekannt gewesen sein mufs. Im übrigen erwähnt auch die Hieroglyphenschrift der Ägypter des Eisens[1]). Nicht selten gedenkt Homer des Eisens und Stahls, und zwar mehr als eines für den Ackerbau und für Gewerbe als für den Krieg benutzten Metalls, da die Waffen der damaligen Zeit zum Teile aus Bronze gefertigt wurden[2]). In Italien war das Eisen schon vor der Römerzeit bekannt; in einer im Jahre 1853 zu Villanova bei Bologna aufgedeckten Totenstadt aus voretruskischer Zeit (angeblich aus dem 9. oder 10. Jahrhundert v. Chr.) wurde eine grofse Zahl eiserner Geräte und Waffen gefunden[3]).

Berühmt war im Altertum, besonders bei den Griechen, der Stahl der Chalyber, eines Volksstammes am Schwarzen Meere im heutigen Armenien; die Bezeichnung χάλυψ für Stahl deutet darauf hin, dafs jene die Lehrer der Griechen in der Stahldarstellung gewesen seien. Sie galten den Griechen für die Erfinder des Stahls, und verschiedene griechische Schriftsteller erwähnen des dortigen Eisenhüttenbetriebes; nach Xenophon lebte fast der ganze Volksstamm von der Eisendarstellung. Auch die Juden bezogen von dort einen grofsen Teil ihrer Stahlwaren. Noch heute sollen alte Schlackenhalden in grofser Zahl in dortiger Gegend gefunden werden.

Ein ausgedehnter Eisenhüttenbetrieb wurde zur Zeit der Weltherrschaft Roms, als das Eisen bereits das unentbehrliche Metall für Waffen, Rüstungen, Ackerbaugeräte, Handwerkszeug aller Art u. a. m. bildete, in verschiedenen eisenerzreichen römischen Provinzen betrieben, insbesondere in Spanien, Gallien, England, Kärnten, am Rheine; Schlackenhalden, ja selbst Öfen und Schmelzgeräte aus der Römerzeit, welche ab und an ausgegraben werden, bilden Zeugen der Tätigkeit römischer Eisenhüttenleute in jenen Ländern[4]). Besonderen Ruf jedoch hatte bei den Römern

---

[1]) Beck, im genannten Werke, Band 1, Seite 93.

[2]) Dafs man zu Homers Zeit (etwa 1000 v. Chr.) bereits die Härtbarkeit des Stahls kannte und bei der Anfertigung von Werkzeugen davon Anwendung machte, ergibt sich besonders deutlich aus der Erzählung von der Blendung des Kyklopen Polyphem (Odyssee, 9, 931):

Wie wenn ein kluger Schmied die Holzaxt oder ein Schlichtbeil
Glühend ins Wasser taucht, das laut mit Gesprudel emporbraust,
Härtend mit Kunst, denn das gibt Kraft aufs neue dem Eisen,
Also zischt' ihm das Aug' um die feurige Spitze des Ölbrands.

[3]) Einiges Nähere: Beck, im genannten Werke, Band 1, Seite 470.

[4]) Dafs in den meisten jener Länder auch schon vor Ankunft der Römer Eisengewinnung betrieben wurde, läfst sich aus gemachten Funden schliefsen; aber geschichtliche Nachrichten darüber liegen nicht vor.

zu Plinius Zeit das Eisen der Serer, eines vermutlich ostasiatischen Volksstammes, welches gemeinschaftlich mit kostbaren Geweben nach Rom gebracht wurde und vermutlich mit dem heutigen Wootz- oder Damaszenerstahle übereinstimmte.

Mit der Gesittung und dem Gewerbfleiſse der Völker wuchs ihr Verbrauch an Eisen; mehr und mehr trat die Bedeutung, welche auch noch im alten Rom die Bronze für zahlreiche Verwendungen besessen hatte, hinter der des Eisens zurück. Immerhin aber blieb die Erzeugung des Eisens auf das Kleingewerbe beschränkt. Man kannte nur eine einzige Eisengattung, das Schweiſseisen; es wurde unmittelbar aus den Erzen in niedrigen Öfen oder Feuern gewonnen, in welchen nur wenige Kilogramme die Ausbeute des einmaligen Schmelzens bildeten. Einfache Gebläse waren ja bei einzelnen Völkern schon seit alter Zeit in Anwendung, aber sie wurden durch menschliche Kraft, gewöhnlich mit Hilfe eines Fuſstritts, bewegt. Kraftmaschinen kannte man im Eisenhüttenbetriebe nicht, und hierdurch war von vornherein die Leistungsfähigkeit des einzelnen Ofens beschränkt. Auch die Bearbeitung des Eisens geschah lediglich durch Handarbeit mit Hilfe des Schmiedehammers. Der Schmied, welcher des Eisens für seine Zwecke bedurfte, stellte es sich häufig selbst dar, ja, selbst der Bauer besaſs nicht selten seine eigene Schmiede, in welcher er das Eisen für seinen Bedarf aus den Erzen darstellte und verarbeitete. Wo das Erz sich fand, errichtete man den Schmelzofen; Kohlen lieferten die umliegenden mächtigen Wälder in reichlicher Menge. So entwickelte sich die Zunft der „Waldschmiede“, deren in alten Urkunden vielfach gedacht wird. Auch jetzt noch findet man als Spuren ihrer Tätigkeit bisweilen alte Eisenschlackenhalden mitten im Walde, aber in der Nähe verlassener Erzgruben.

In dieser Weise wurde das Eisenhüttengewerbe von den ersten Anfängen an bis gegen Ende des Mittelalters betrieben. Man kann diese ganze Zeit, weche bei manchen Völkern mehrere Jahrtausende umfaſst, als den ersten Abschnitt in der Geschichte der Entwicklung der Eisendarstellung bezeichnen. Ausschlieſsliche Darstellung von Schweiſseisen unmittelbar aus den Erzen durch Handarbeit ist das kennzeichnende Merkmal des Abschnitts.

Im 14. Jahrhundert fing man zuerst an, Wasserkraft, die schon im alten Rom zu Julius Cäsars Zeit zum Betriebe von Mühlen benutzt worden war, auch für den Betrieb von Gebläsen bei Schmelzöfen in Anwendung zu nehmen; tiefgreifende Änderungen im Eisenhüttenbetriebe, welche den zweiten Abschnitt in der Geschichte des Eisens einleiteten, waren die Folge dieser Einrichtung. Während man früher die Erze an ihrer Fundstätte verhüttet hatte, muſste nunmehr das Vorhandensein der Wasserkraft den Ausschlag für die Wahl des Standortes der Hüttenlage geben. Alte Anlagen muſsten kalt gelegt und dem Verfalle übergeben, neue eingerichtet werden. Der ersparten menschlichen Arbeit für den Betrieb des Gebläses standen die bei der Mangelhaftigkeit der Verkehrsmittel gewiſs nicht unbeträchtlichen Kosten für die Beförderung der Schmelzstoffe auf weitere Entfernungen gegenüber. Nicht ohne manches Bedenken werden unsere Vorväter an die neue Betriebsweise herangetreten

sein, und erst dann werden sie sich zu diesem Schritte entschlossen haben, als sie durch den mehr und mehr wachsenden Bedarf an Eisen zu einer Ausdehnung ihres Betriebes gezwungen wurden.

Aber noch schwerer wiegende Folgen knüpften sich an die neue Einrichtung. Die Möglichkeit, durch Benutzung der Wasserkraft gröfsere Windmengen und stärkere Windpressungen als bisher zu erzeugen, gab Veranlassung, die Schmelzöfen zur besseren Wärmeausnutzung und Erzielung einer gröfseren Leistung über ihr bisheriges Mafs hinaus zu erhöhen; in den gröfseren Öfen aber fand vollständigere Reduktion und Kohlung statt, und statt des Klumpens schmiedbaren Eisens erhielt man Roheisen, dessen flüssiger Zustand auf seine Verwendbarkeit zur Gufswarendarstellung hinwies. So begann die gewerbsmäfsige Roheisendarstellung; einen Schritt weiter, und man fand, dafs beim wiederholten Umschmelzen der beim Giefsen entstehenden Abfälle diese sich allmählich in schmiedbares Eisen umwandelten, wodurch die bis dahin gebräuchliche Darstellung schmiedbaren Eisens aus den Erzen in den Hintergrund gedrängt und die Bahn für das heutige Verfahren der Eisendarstellung im grofsen gebrochen wurde.

Die Hauptmerkmale dieses zu der angegebenen Zeit beginnenden zweiten Abschnitts der Geschichte des Eisens sind demnach: Verhüttung der Eisenerze in hohen, durch Gebläse betriebenen Schachtöfen (Hochöfen) auf Roheisen und Verwendung des erfolgenden Roheisens teils zur Gufswarenerzeugung, teils zur Schweifseisendarstellung in besonderen Öfen. Das alte, bis dahin ausschliefslich angewendete Verfahren der Schweifseisenerzeugung aus Erzen trat im Verlaufe dieses Abschnitts von Jahrhundert zu Jahrhundert mehr in den Hintergrund; vollständig erloschen ist es freilich bis heute noch nicht.

Der Verwendung des Eisens aber wurde seit jener Zeit durch die Darstellung von Gufswaren ein ganz neues, umfangreiches Gebiet eröffnet.

Dieser zweite Abschnitt verläuft bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts; aber zahlreiche Erfindungen und Fortschritte, welche hohe Wichtigkeit für den Eisenhüttenbetrieb besitzen und dessen Entwicklung mächtig förderten, fallen in seinen Bereich.

So z. B. war Jahrtausende hindurch die Möglichkeit der Eisendarstellung an die Benutzung von Holzkohlen geknüpft. Je volkreicher die Länder wurden, desto mehr lichteten sich die Wälder, welche die Holzkohlen geliefert hatten, während der Eisenbedarf wuchs, und mit schwerer Sorge sahen die Regierungen den Folgen dieses Mifsverhältnisses entgegen. Unter dem Drucke dieser Verhältnisse lernte man im 18. Jahrhundert nach zahlreichen mifslungenenen Versuchen mineralische Kohlen an Stelle der Holzkohlen benutzen, zunächst nur durch die Roheisenerzeugung, dann gegen Ende des Jahrhunderts auch für die Schweifseisendarstellung. Ohne diese Erfindungen, deren Einzelheiten bei Besprechung der besonderen Verfahren Erörterung finden werden, würde das Eisenhüttengewerbe gänzlich aufserstande gewesen sein, auch nur annähernd seine jetzige Bedeutung zu erlangen.

Nicht minder folgenschwer für den Eisenhüttenbetrieb war die

Erfindung der Dampfmaschine in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts[1]). In mehr als einer Richtung machte alsbald diese Erfindung ihre Bedeutung im Eisenhüttengewerbe geltend. Die Eisenwerke selbst gingen rasch dazu über, die neue Betriebskraft an Stelle der Wasserkraft zu benutzen; sie befreiten sich dadurch von jener Fessel, welche Jahrhunderte hindurch den Eisenhüttenbetrieb an den Lauf fliefsender Gewässer gebannt hielt und die Vergröfserung eines Eisenwerkes über das Mafs hinaus unmöglich machte, welches durch die Gröfse einer vorhandenen Wasserkraft gegeben war. Wo sich Erze und Kohlen in genügender Menge fanden, legte man Eisenwerke an, unbekümmert darum, ob Wasserkraft vorhanden war oder nicht; für den Umfang des Betriebes blieben lediglich kaufmännische Rücksichten mafsgebend. Dieser Umstand aber erlangte erhöhte Bedeutung durch die Steigerung des Eisenbedarfs, welche als eine weitere Erfindung der Dampfmaschine alsbald eintrat. Die gesamte Gewerbtätigkeit blühte mächtig empor; der Maschinenbau gelangte zu nie geahnter Entfaltung und stellte von Jahr zu Jahr weitergehende Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Eisenwerke. Dennoch würde das Eisenhüttengewerbe niemals jene ungeheure Ausdehnung erlangt haben, welche es in der Jetztzeit besitzt, wenn nicht an die Erfindung der Dampfmaschine sich fünfzig Jahre später eine Anwendung gereiht hätte, welche berufen war, schwerwiegende Einflüsse auf Bildung und Wirtschaft der Völker zu üben: die Benutzung des Dampfes zum Eisenbahnbetriebe seit dem Jahre 1825. Ein Netz eiserner Schienen, von Jahr zu Jahr wachsend[2]) und wegen des stattfindenden Verschleifses einer stetigen Ergänzung bedürfend, dehnte sich und dehnt sich noch heute allmählich über das bewohnte Festland aus; aufser den Schienen bestehen zahlreichere andere Hilfsmittel des Eisenbahnbetriebes aus Eisen. Die Eisenbahnen selbst aber ermöglichten die Beförderung der Rohstoffe des Eisenhüttenbetriebes und den Absatz der Erzeugnisse auf weite Strecken zu verhältnismäfsig niedrigen Preisen; so war der Erzeugung und Verwendung des Eisens ein Feld eröffnet, dessen Ausdehnung schwerlich jemand zuvor geahnt hatte. Ein Bild der Steigerung des Verbrauchs an Eisen seit jener Zeit erhält man durch Ziffern. Die jährliche Eisenerzeugung der Erde betrug im Jahre 1800 825 000 Tonnen; im Jahre 1850, also etwa zwanzig Jahre nach der Anlage der ersten Eisenbahn, 4 750 000 Tonnen[3]); im Jahre 1900 etwa 41 000 000 Tonnen. Sie ist im Laufe des 19. Jahrhunderts auf fast das Fünfzigfache gewachsen.

Der dritte Abschnitt in der Geschichte der Eisendarstellung beginnt mit der Zeit, wo eine dritte Eisengattung, das Flufseisen, in gröfseren Mengen auf den Schauplatz trat. Kleinere Mengen

[1]) Die erste betriebsfähige Dampfmaschine wurde zwar schon 1706 durch Denis Papin in Kassel gebaut, aber zu allgemeinerer Anwendung gelangte sie erst, nachdem James Watt 1769 sie wesentlich vervollkommnet hatte.

[2]) Im Jahre 1902 betrug die Gesamtlänge des Eisenbahnnetzes der Erde 838 000 km, mehr als die doppelte Entfernung des Mondes von der Erde und nahezu das 21fache des Erdumfangs am Äquator („Stahl und Eisen“ 1904, Seite 847).

[3]) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 816 (Wedding).

Flufsstahls (Tiegelstahls) wurden schon seit den letzten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts erzeugt; eine Massendarstellung von Flufseisen (und Flufsstahl) in solchem Umfange, dafs das gesamte Eisenhüttenwesen dadurch wesentliche Umgestaltungen erleiden konnte, wurde erst möglich, nachdem man neuere Verfahren erfunden hatte, welche eine billigere Darstellung als das Tigelschmelzen ermöglichten. Das Jahr 1860 kann als die Grenzscheide zwischen dem zweiten und dritten Abschnitte bezeichnet werden. Noch sind erst wenige Jahrzehnte seit dem Beginne dieses Abschnittes verstrichen, aber schon lassen sich deutlich jene Umgestaltungen erkennen. Die Roheisendarstellung hat ihre seitherige Bedeutung beibehalten, denn nach wie vor bildet das Roheisen das erste Erzeugnis aus den Erzen, aus welchem in einem zweiten Verfahren erst das schmiedbare Eisen dargestellt wird; aber an Stelle des Schweifseisens ist das in mancher Beziehung vorzüglichere und oft billiger herzustellende Flufseisen getreten. Von Jahr zu Jahr ist das Verhältnis der Menge des erzeugten Flufseisens zu der des Schweifseisens gewachsen, und die Zeit ist nicht mehr fern, wo in den Kulturländern die Schweifseisendarstellung erloschen sein wird. Zahlreiche Flufseisenhütten, sogenannte Stahlwerke, mit oft ungeheurer Leistungsfähigkeit sind entstanden, und die kleinen Werke früherer Jahrzehnte, welche oft nur wenige Tonnen schmiedbaren Eisens im Laufe einer Woche erzeugten, sind verschwunden. Von der gesamten Roheisenerzeugung der Erde, welche sich in der Jetztzeit auf rund 47 Millionen Tonnen schätzen läfst, werden etwa zwei Drittel zu Flufseisen verarbeitet. Auch die Gufswarendarstellung zeigt die Merkmale der neuen Zeit: neben dem Roheisen als Stoff für die Giefserei erscheint vielfach das festere, widerstandsfähigere, wenn auch weniger leicht giefsbare und kostspieligere Flufseisen (im sogenannten Stahlgufs). Von Jahr zu Jahr wächst der Verbrauch hieran, nachdem die Schwierigkeiten, welche das Verarbeitungsverfahren anfänglich zeigte, überwunden sind, und zu hoher Bedeutung ist das Flufseisen auch auf diesem Gebiete gelangt.

So ist das Eisen im Laufe der Jahrtausende zu dem herrschenden, unentbehrlichsten aller Metalle geworden. Welche Bedeutung es für die Wirtschaft der Völker besitzt, erhellt am deutlichsten aus dem Umstande, dafs, obgleich es das billigste aller Metalle ist, doch der Geldwert des jährlich erzeugten Eisens noch etwas bedeutender ist als der aller übrigen gewonnenen Metalle — des Goldes, Platins und Silbers eingerechnet — zusammengenommen: dem Gewichte nach beträgt die Menge des jährlich dargestellten Eisens fast das Zweiundzwanzigfache von dem Gewichte der übrigen Metalle [1]). Ohne Benutzung des Eisens ist ein höherer Gesittungszustand der Menschheit undenkbar. Uns würden die Werkzeuge fehlen zur Bearbeitung des Steins, den wir für unsere Bauten gebrauchen, die Maschinen zur Anfertigung der hunderterlei Gegenstände, deren tägliche Benutzung uns zum Lebens-

[1]) Zusammenstellung des Gewichts und Geldwerts der im Jahre 1903 erzeugten Metalle: „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 172.

bedürfnisse geworden ist, die Mittel für den leichten Verkehr der Menschen untereinander, diesen mächtigen Hebel der Volkswohlfahrt und Volksbildung. Dafs es diese hervorragende Stellung unter allen Metallen einnimmt, verdankt es in erster Reihe seinen vortrefflichen Eigenschaften, seiner bedeutenden Festigkeit, Verarbeitungsfähigkeit u. a. m. — Eigenschaften, welche, wie schon eingangs angedeutet wurde, sich innerhalb weiter Grenzen regeln lassen; anderseits auch seinem massenhaften Vorkommen und seiner weiten Verbreitung auf der Erde in Form leicht verhüttbarer Erze, wodurch eine verhältnismäfsig billige Erzeugung ermöglicht wird.

3. Die Eisenerzeugung der verschiedenen Länder.

Allgemeines.

Im folgenden ist deshalb der Roheisenerzeugung der wichtigeren eisenerzeugenden Länder im Jahre 1903 die Eisenerzgewinnung und Steinkohlengewinnung angereiht.

	Roheisen Tonnen	Eisenerze Tonnen	Steinkohlen Tonnen
Vereinigte Staaten Nordamerikas	18 297 000	36 123 000	326 119 000
Deutschland	10 018 000	21 230 000	116 640 000
Großbritannien	8 950 000	13 940 000	234 019 000
Frankreich	2 828 000	6 220 000	34 320 000
Rußland	2 452 000	5 648 000	15 115 000
Österreich-Ungarn	1 355 000	3 330 000	11 498 000
Belgien	1 216 000	166 000	23 912 000
Schweden	507 000	3 680 000	320 000
Spanien	380 000	8 480 000	2 700 000
Kanada	270 000	367 000	7 250 000
Italien	75 000	375 000	— 000
Alle übrigen Länder zusammen etwa	516 000	2 441 000	31 107 000
Zusammen	47 000 000	102 000 000	803 000 000

Der Umfang, welchen die Eisenerzeugung eines Landes erreicht, ist in erster Reihe von seinem Reichtum an Eisenerzen und Kohlen, insbesondere Steinkohlen abhängig[1]). Reichtum eines Landes an Erzen ohne Kohlen vermag so wenig als der Besitz von Kohlenlagern ohne Erze die Grundlage für einen erspriefslichen Grofsbetrieb des Eisenhüttengewerbes zu bilden.

Neben dem Reichtum an Rohstoffen für die Eisenerzeugung spielt aber auch die Beschaffenheit der Verkehrsmittel eine wichtige

[1]) Steinkohlen und die aus ihnen dargestellten Koks bilden den wichtigsten Brennstoff des Eisenhüttenbetriebes der Jetztzeit. Holz und Holzkohlen können, gegenüber dem Massenbedarfe an Brennstoff für das jetzige Eisenhüttengewerbe nur noch in untergeordnetem Mafse in Betracht kommen; Braunkohlen sind zwar für einzelne Verfahren der Eisendarstellung geeignet, nicht aber für die erste Verarbeitung der Erze, die Roheisendarstellung, welche ungefähr die Hälfte des für die Eisendarstellung überhaupt erforderlichen Brennstoffs verbraucht.

Rolle für die Entwicklung des Eisenhüttenbetriebes eines jeden Landes. Je vollkommener die Verkehrsmittel sind, desto leichter und billiger ist die Beförderung der Rohstoffe nach der Stätte der Verhüttung zu bewirken, auch wenn deren Gewinnungsstätten verhältnismäſsig weit entlegen sein sollten, und desto mehr ist der Absatz des erzeugten Eisens erleichtert.

Das wichtigste Hilfsmittel für einen umfangreichen Güterverkehr sind schiffbare Gewässer: das Meer, Flüsse, Kanäle. Eisenbahnen, so unentbehrlich sie in jetziger Zeit für den Verkehr sind, stehen doch der gröſseren Kostspieligkeit der Fracht halber für die Massenbeförderung der Güter hinter jenen um so mehr zurück, je gröſser die Entfernungen sind. Daher kann in einem Lande, dessen Schätze an Kohlen und Eisenerzen weit voneinander entfernt liegen, trotzdem ein Eisenhüttenbetrieb in groſsem Maſsstabe sich entfalten, sofern Verfrachtung zu Wasser möglich ist; geringer ist die für eine nutzenbringende Verwendung jener beiden Rohstoffe zulässige Entfernung, wenn man nur auf die Beförderung durch Bahnfracht angewiesen ist. Mitunter auch ergänzen sich beide Beförderungsmittel in ersprieſslicher Weise.

Wo Erze und Kohlen nicht unmittelbar nebeneinander sich befinden, kann man das Eisenwerk in der Nähe der Fundstätte der Kohlen anlegen und die Erze nach den Kohlen fahren, oder umgekehrt. Der erstere Fall ist der häufigere. Eine triftige Veranlassung für die Wahl des Bauplatzes in der Nähe der Kohlenlager liegt besonders dann vor, wenn nicht eine einzige Erzsorte, sondern mehrere, in gröſseren Entfernungen voneinander auftretende Erze gemeinschaftlich verhüttet werden sollen. Man würde in diesem Falle neben der Fracht für die Brennstoffe auch noch diejenige für einen Teil der Erze zu tragen haben, wenn das Werk bei der Gewinnungsstätte eines der Erze errichtet würde. Eine fernere Begründung findet die Anlage des Eisenwerkes auf der Fundstätte der Kohlen dadurch, daſs in der Umgegend der Kohlenlagerstätten auch die Gewerbtätigkeit im ganzen sich reicher entfaltet, umfänglichere Verkehrsmittel geschaffen werden und durch das Zusammenwirken beider Umstände sich die Handelsverhältnisse für das Eisenwerk günstiger gestalten. Daher findet man in den Ländern, deren Eisenerzeugung auf das Vorkommen mineralischer Kohlen sich stützt, die meisten gröſseren Eisenwerke in den Kohlenbezirken zusammengedrängt. Je reicher die Erze sind, desto eher ertragen sie die Verfrachtung auch auf weite Strecken, da die Frachtkosten, bezogen auf die Menge des gewonnenen Eisens, um so niedriger ausfallen müssen, je höher das Ausbringen an Eisen aus den Erzen ist.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn entweder nur ein einziges, in ausreichender Menge vorkommendes Erz verhüttet werden soll, oder wenn die verschiedenen Erze in unmittelbarer Nachbarschaft sich finden. Hier kommt der Umstand in Betracht, daſs man zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisens geringere Gewichtsmengen Kohle als Erz gebraucht und man demnach weniger Fracht zu zahlen hat, wenn man die Verhüttung in der Nähe der Fundstätte der Erze vornimmt, als bei Verfrachtung der Erze nach dem

Kohlenbezirke. Verschiedene Eisenwerke sind auf Grund solcher Erwägungen in der Nähe der Erzvorkommnisse, fern von der Kohlenlagerstätte, entstanden und haben sich als lebenskräftig erwiesen.

Vereinzelt kommen auch Fälle vor, wo für die Wahl des Bauplatzes nur die günstigen Verkehrsverhältnisse, z. B. die Nähe des Meeres und eines schiffbaren Stromes, den Ausschlag gaben und sämtliche Rohstoffe für den Betrieb aus gröfseren Entfernungen bezogen werden müssen. Das Eisenwerk liegt in solchen Fällen zwischen den Gewinnungsstätten der Rohstoffe; aber die Möglichkeit, dafs Verkehrsstörungen durch Unwetter, Krieg oder andere Ereignisse den Betrieb des Werkes schädigen, ist dann gröfser, als wenn nur ein Teil der Rohstoffe von auswärts bezogen zu werden braucht. Der Umstand ist wohl geeignet, bei der Wahl der Baustätte Berücksichtigung zu finden.

Von dem Gesamtumfange des Eisenhüttenbetriebes in einem Lande, von den Umständen, welche jenen Umfang bedingen, hängen zum Teil auch die Einrichtungen ab, welche für die Eisendarstellung in Anwendung kommen. In kurzen Umrissen sollen daher in folgendem die Verhältnisse geschildert werden, welche für die Entwicklung des Eisenhüttengewerbes in den wichtigsten eisenerzeugenden Ländern mafsgebend gewesen sind.

Vereinigte Staaten Nordamerikas.

(Vergleiche Abbildung 1.)

Zum ersten Male sind die Vereinigten Staaten im Jahre 1890 an die Spitze der eisenerzeugenden Länder getreten, während bis dahin Grofsbritannien diese Stelle innegehabt hatte, und seit 1865 ist die Eisenerzerzeugung jenes Landes auf mehr als das Zwanzigfache gestiegen[1]). Verschiedene Umstände vereinigten sich, diesen Erfolg erringen zu helfen: ein grofser Reichtum an Eisenerzen und Kohlen, ausgedehnte Verkehrsstrafsen, zum Teil zu Wasser, der praktische Sinn und die tatkräftige Eigenart der Nordamerikaner sowie ein durch eine umfangreiche Gewerb- und Bautätigkeit, insbesondere durch die Anlage zahlreicher Eisenbahnen, veranlafster Massenverbrauch an Eisen[2]); daneben freilich auch die Ablegenheit von den europäischen Eisenbezirken und hohe Schutzzölle. Denn nicht ganz leicht ist den Nordamerikanern die Erzeugung eines so billigen Eisens gemacht, dafs ein umfänglicher europäischer Wettbewerb ferngehalten werden kann; Erze und Kohlen liegen zum grofsen Teile weit auseinander, und die Löhne sind höher als auf europäischen Eisenwerken.

Von den sämtlichen Erzen der Vereinigten Staaten bestehen etwa 86 v. H. aus Roteisensteinen. Der Schwerpunkt der Erzgewinnung liegt im Bezirke des Oberen Sees, d. h. in den Staaten

---

1) Eisenerzeugung 1865 = 845000 t.

2) Am Schlusse des Jahres 1902 entfielen von dem Eisenbahnnetze der ganzen Erde 38 v. H. auf die Vereinigten Staaten, 35 v. H. auf ganz Europa, 6,4 v. H. auf Deutschland („Stahl und Eisen“ 1904, Seite 847).

Michigan, Minnesota und Wisconsin. Alle drei Staaten zusammen liefern etwa drei Viertel der gesamten Erzförderung. Die dortigen Erze bestehen zum gröfsten Teile aus eisenreichen und an Phosphor armen Roteisenerzen, zum geringeren Teile aus Magneteisenerzen. Ein Teil der Erze, und zwar vornehmlich der minder eisenreiche, wird in der Nähe der Fundstellen verhüttet; die reicheren Rot- und Magneteisenerze dagegen, deren Eisengehalt annähernd 60 v. H. beträgt[1]), bilden einen wichtigen Rohstoff für die Eisenwerke westlich vom Alleghanygebirge in den Staaten Pennsylvanien, Ohio und Illinois. Ihre Verfrachtung auf diese zum Teil sehr weiten Entfernungen wird durch die Benutzung des Wasserweges auf den miteinander verbundenen Binnenseen (Oberer See, Michigan-See, Huron-See, Erie-See) wesentlich erleichtert. An den ersteren beiden Seen liegen die Einschiffungshäfen (Two Harbors, Ashland, Marquette, Duluth, Superior, Gladstone, Escanaba), am Erie-See die Ausschiffungshäfen (Cleveland, Ashtabula, Conneaut und andere) für die nach den östlichen Bezirken (Ohio, Pennsylvanien) gehenden Erze.

An zweiter Stelle hinsichtlich des Umfangs der Eisenerzförderung steht der Staat Alabama, welcher ungefähr ein Zehntel der Gesamtförderung liefert. Erst seit etwa 25 Jahren hat dort, und zwar vornehmlich in der Nähe der Stadt Birmingham, eine umfangreichere Gewinnung Platz gegriffen, welche durch die sehr niedrigen Gewinnungskosten eine wesentliche Förderung erhält, obschon die Erze ärmer an Eisen (etwa 45 v. H. Eisengehalt) und reicher an Phosphor sind als die vom Oberen See. Etwa zwei Drittel der Erze sind Roteisenerze (Clintonerze genannt), ein Drittel Brauneisenerze. Sie werden in der Nähe der Gewinnungsorte verhüttet.

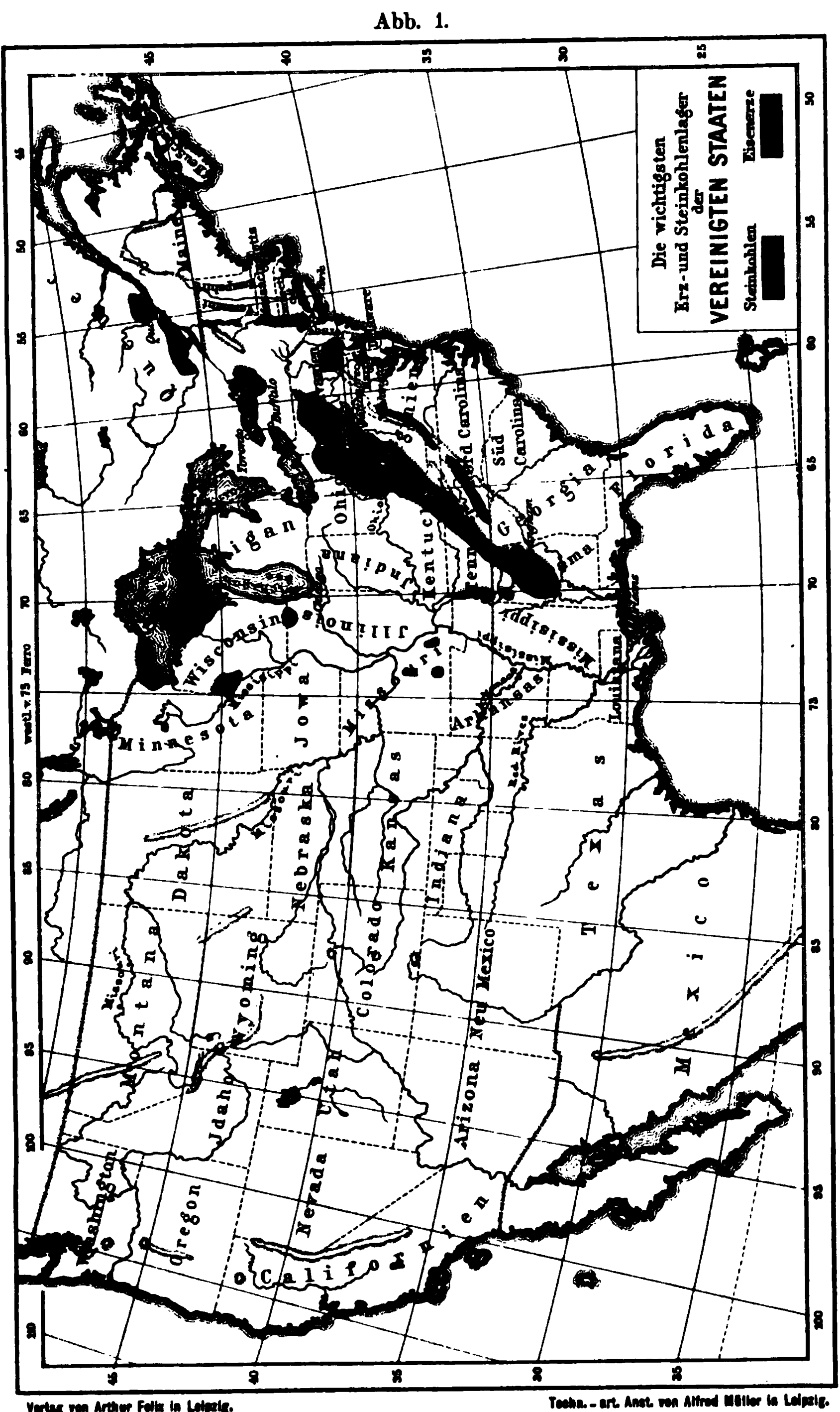
Etwa ein Fünfundzwanzigstel der Erzförderung wird von Pennsylvanien geliefert, teils Magnet-, teils Rot- und Brauneisenerze. Braun- und Roteisenerze werden in Virginien und Tennessee gewonnen, Magneteisenerze in den Staaten New York und New Jersey. Auch in Georgia und Nord-Carolina sowie in Colorado werden Eisenerze, gröfstenteils Brauneisenerze, gefördert; minder wichtig ist der Erzbergbau in Ohio, Kentucky, Connecticut, Massachusetts und den sonstigen Staaten. An der Küste des Stillen Ozeans wird kein Eisenerz gewonnen.

Ungefähr eine Million Tonnen Erz (1903 = 996000 t) werden von auswärts eingeführt, gröfstenteils von Kuba und Spanien.

Den gröfsten Reichtum an mineralischen Kohlen besitzt unter allen Staaten Pennsylvanien. Im Osten Pennsylvaniens bilden die dort auftretenden Anthrazite eine fast unerschöpfliche Quelle des Reichtums an Brennstoffen; im westlichen Teile finden sich mächtige Lager verkokungsfähiger Steinkohle. Von der gesamten Kohlenförderung Nordamerikas liefert Pennsylvanien etwa die Hälfte. Pennsylvanien zunächst kommt Illinois mit etwa einem Zehntel der Gesamtförderung, ferner Ohio und Westvirginien.

[1]) Der Eisengehalt dieser Erze hat in den letzten Jahren abgenommen; früher warf man Erze mit weniger als 60 v. H. Eisen bisweilen auf die Halde („Stahl und Eisen“ 1901, Seite 417).

Abb. 1.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

deren jeder 8 v. H. der Gesamtförderung liefert. Die Steinkohlenlager der letzteren beiden Staaten erstreckt sich südwestlich durch Kentucky, Tennessee bis Alabama und liefert hier, zumal in dem letzteren Staate, verschiedenen Eisenwerken ihren Brennstoff; sonstige, in verschiedenen Staaten zerstreute Vorkommnisse sind für den Eisenhüttenbetrieb ohne besondere Bedeutung.

Diesen Verhältnissen entsprechend hat sich der Grofsbetrieb vornehmlich in Pennsylvanien entwickelt; mit den dort auftretenden Kohlen und Anthraziten verarbeitet man die Erze des Oberen Sees neben den verhältnismäfsig geringen Mengen eigener Erze. Von der gesamten, oben angegebenen Roheisenerzeugung entfallen allein auf Pennsylvanien etwa 46 v. H. (8350000 Tonnen), auf Ohio 18 v. H., Illinois 9½ v. H., Alabama 9 v. H., New York 3 v. H., Virginien 3 v. H., Tennessee 2,5 v. H., alle übrigen Staaten 9 v. H.

Betrieb mit Holzkohlen besteht noch in Michigan, Wisconsin, Alabama, Tennessee, Missouri und einigen anderen Staaten; im ganzen werden mit Holzkohlen etwa 2,8 v. H., mit Anthraziten etwa 10,5 v. H., mit Koks etwa 86,7 v. H. des gesamten Roheisens erzeugt.

Unter den gröfseren, mit mineralischen Kohlen arbeitenden Eisenwerken seien hier erwähnt: Die Edgar Thomson Steel Works bei Pittsburg, der Firma Carnegie Steel Company angehörend; die Cambria Iron Works zu Johnstown; die Bethlehem Iron Works zu Bethlehem; die Pennsylvania Steel Works zu Harrisbury; die Duquesne-Hochöfen am Monongahelaflusse: sämtlich in Pennsylvanien. Südlich von diesen in der Nähe von Baltimore (Maryland) liegen die Maryland Steel Works zu Sparrow Point; in Illinois bei Chicago die South Chicago Works der Illinois Steel Company. Unter den Eisenwerken in Alabama mögen u. a. die Pioneer-Furnaces zu Thomas in der Nähe von Birmingham, die Sheffield-Furnaces zu Sheffield, Sloss-Furnaces zu Birmingham, Oxmoore-Furnaces zu Oxmoore Erwähnung finden[1]; in New Jersey die Buffalo-Furnaces zu Buffalo. Gröfsere mit Holzkohle betriebene Werke sind u. a. der Hinkle-Furnace zu Ashland in Wisconsin, der Antrim-Furnace zu Mancelona in Michigan, der Martel-Furnace zu St. Ignace, ebenfalls in Michigan[2].

Deutschland und Luxemburg[3].

(Vergleiche Abbildung 2.)

Nicht ganz leicht war den deutschen Eisenhüttenleuten die Lösung der Aufgabe gemacht, ihrer Gewerbtätigkeit eine hervor-

[1] Näheres über die Erzvorkommnisse und den Eisenhüttenbetrieb in Alabama: W. B. Phillips, Iron Making in Alabama, Montgomery, 1896; ferner Iron and Coal Trades Review, Bd. 55 (1897), Seite 344 (The mining and metallurgical industries of the Southern States).

[2] Aufser den am Schlusse dieses Abschnitts gegebenen Literaturnachweisen über Statistik des Eisenhüttengewerbes im allgemeinen sind hinsichtlich der Eisenerzvorkommnisse und Eisenerzerzeugung Nordamerikas die in „Stahl und Eisen" 1891, Seite 12, 19, 86 veröffentlichten Reiseberichte deutscher Eisenhüttenleute als lehrreich zu nennen.

[3] Beide Länder stehen im Zollverbande und sind deshalb gemeinschaftlich erwähnt.

ragende Stellung sowohl unter den verschiedenen Gewerbszweigen ihres eigenen Landes als innerhalb des gesamten Eisenhüttenbetriebes der Erde zu sichern. Zwar besitzt Deutschland einige reiche Eisenerzlagerstätten, und auch der Steinkohlenreichtum Deutschlands ist bedeutend; beide Rohstoffe aber finden sich selten in unmittelbarer Nachbarschaft, und die geographische Beschaffenheit des Landes verteuert mehr als in manchen anderen Ländern die Verfrachtung sowohl der verschiedenen Stoffe zueinander als der Erzeugnisse nach den Absatzgebieten. Ist doch die Wasserfracht von einem der Häfen Grofsbritanniens nach der deutschen Küste und von hier auf einem der schiffbaren Ströme hinauf bis zum Herzen Deutschlands, ja selbst bis nach Böhmen, oft kaum bedeutender als die Eisenbahnfracht von einem deutschen Eisenwerke nach derselben Stelle.

Unter den verschiedenen Erzvorkommnissen verdienen hervorgehoben zu werden:

1. Die Minetteerze Lothringens und Luxemburg, von Nancy bis Luxemburg westlich von der Mosel in einer Mächtigkeit bis zu 20 m sich erstreckend[1]). Erst seit Anfang der siebenziger Jahre wird dort in gröfserem Mafsstabe Erzgewinnung betrieben, und jetzt liefert jener Bezirk fast drei Viertel aller in Deutschland und Luxemburg geförderten Erze. Ihr Eisengehalt ist zwar nicht bedeutend und beträgt im Mittel kaum über 36 v. H.; aber die Mächtigkeit ihres Vorkommens und die Billigkeit ihrer Förderungskosten verschafften ihnen jene hervorragende Bedeutung. Sie werden teils in Lothringen (Grofs-Moyeuvre, Hayingen, Rombach, Ückingen, Kneuttingen, Maizières, Deutsch-Oth u. a.), teils in Luxemburg (Düdelingen, Esch a. d. Eltz, Dommeldingen, Rümelingen, Rodingen u. a.), teils auf den Werken des Saargebietes (Völklingen, Burbacher Hütte, Neunkirchen, Halbergerhütte u. a.) verhüttet, teils auch nach Rheinland-Westfalen versandt, um mit den dortigen oder mit reicheren ausländischen Erzen gemeinschaftlich verhüttet zu werden. Eine erhebliche Menge der geförderten Minette wird aufserdem an die benachbarten französischen und belgischen Eisenwerke ausgeführt[2]).

2. Die Spat- und Brauneisenerze des Siegerlandes, welche seit vielen Jahrhunderten die Grundlage für einen ziemlich ausgedehnten Eisenhüttenbetrieb bildeten und in jetziger Zeit teils auf den Eisenwerken des eigenen Bezirks (Geisweid, Creuztal, Charlottenhütte u. v. a.), teils in Rheinland-Westfalen verhüttet werden[3]). Die Erzförderung des Siegerlandes beträgt etwa ein Neuntel von der gesamten Förderung Deutschlands und Luxemburgs.

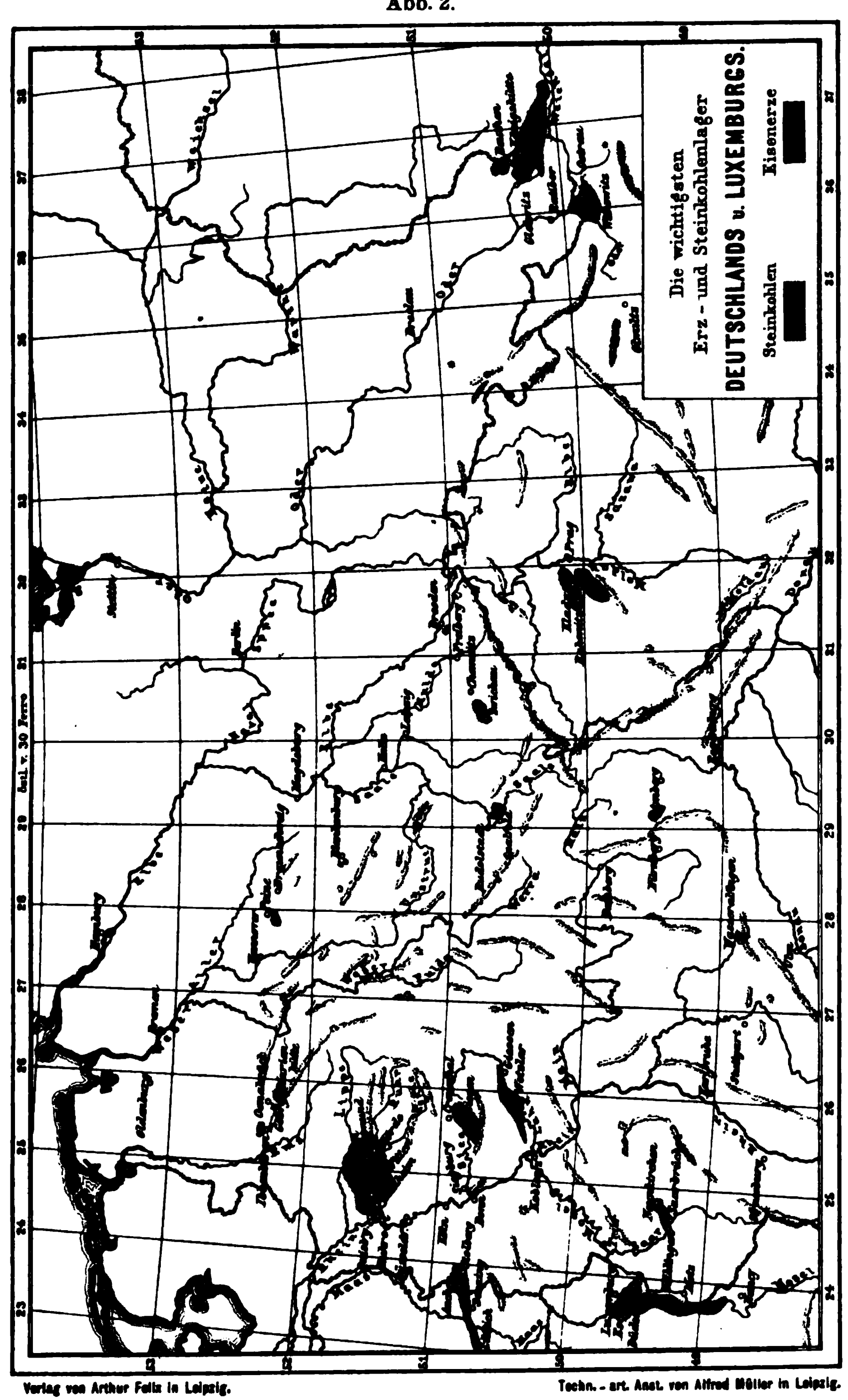
---

[1]) Näheres über dieses wichtige Erzvorkommen in den unter Literatur genannten Abhandlungen von Wandesleben, Schroedter, Jung, Greven, Albrecht, Kohlmann.

[2]) Im Jahre 1902 betrug die Ausfuhr 2868000 t.

[3]) Über Erzgewinnung und Eisenhüttenbetrieb im Siegenschen: „Stahl und Eisen" 1891, Seite 611; ferner Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1875, Seite 666, 674. Nach der zuletzt genannten Quelle stammen die ältesten schriftlichen Nachrichten über den dortigen Eisenhüttenbetrieb aus dem Jahre 1443.

Abb. 2.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.
Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

3. Die Rot- und Brauneisenerze der Lahn und Dill zwischen Wetzlar und Gießen bis zum Rhein, etwa ein Sechzehntel der Gesamterzförderung Deutschlands liefernd. Die Eisenwerke des dortigen Bezirks, in welchen ein Teil dieser Erze verhüttet wird, sind die Main-Weserhütte zu Lollar, die Sophienhütte bei Wetzlar und die Georgshütte bei Burgsolms; ein noch größerer Teil der Erze geht nach Rheinland-Westfalen.

4. Die mulmigen Brauneisenerze Oberschlesiens, auf den oberschlesischen Werken (Königshütte, Laurahütte, Julienhütte, Friedenshütte, Borsigwerk, Donnersmarckhütte u. a. m.) verhüttet. Ihre Gewinnung ist billig, und ihr Vorkommen gab die erste Veranlassung zur Entstehung des oberschlesischen Eisenhüttenbetriebes; aber ihr Eisengehalt ist niedrig, ihre Verhüttung wird durch ihre mulmige Beschaffenheit erschwert, und die vorhandenen Erzlager sind zum Teil erschöpft, so daß die Förderung, welche jetzt ungefähr ein Fünfunddreißigstel von der Gesamterzförderung ausmacht, von Jahr zu Jahr sich verringert und die oberschlesischen Werke gezwungen sind, den größten Teil ihres Erzbedarfs von auswärts zu decken [1]).

5. Die in der Umgegend von Peine (zwischen Braunschweig und Hannover) auftretenden Bohnerze, deren Vorkommen in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die Gründung der Ilseder Hütte zu Großilsede bei Peine veranlaßte. Ihre jährlich geförderte Menge beträgt etwa ein Vierzigstel der Gesamterzförderung Deutschlands; ihre Gewinnung ist sehr billig, ihre Zusammensetzung für die Verhüttung günstig [2]).

6. Die in der Gegend von Osnabrück auftretenden Spat- und Brauneisenerze, etwa ein Hundertstel der Gesamtförderung liefernd, auf der Georgs-Marienhütte bei Osnabrück verarbeitet [3]).

7. Die Brauneisenerze der Oberpfalz in der Gegend von Amberg, auf dem Amberger Eisenwerke und der Maximilianshütte bei Rosenberg verhüttet. Anteil an der Gesamtförderung ungefähr ein Hundertstel.

8. Die Rot-, Braun- und Magneteisenerze des Harzes, in der Gegend von Elbingerode auftretend und auf einigen Harzer Werken größtenteils mit Holzkohlen (Rotehütte, Rübeland) verarbeitet. Auch die in der Gegend von Harzburg sich findenden und in der Mathildenhütte bei Harzburg verhütteten Bohnerze sind hier zu erwähnen.

9. Die Spat- und Brauneisenerze Thüringens in der Gegend von Saalfeld (Kamsdorf, Könitz) sowie die in deren Nachbarschaft auftretenden, erst seit den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in Abbau genommenen Sphärosiderite zu Schmiede-

---

[1]) Vergleiche: G. Bremme, Die oberschlesische Berg- und Hüttenindustrie. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 755; ferner M. Witte, Entwicklung des oberschlesischen Montanwesens. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 1415.

[2]) Einiges Nähere: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 499; 1888, Seite 367.

[3]) Näheres über dieses Vorkommen: H. Müller, Der Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein. Osnabrück 1896.

feld. Beide Erzgattungen werden auf der Maximilianshütte zu Unterwellenborn verhüttet.

Eisenerzvorkommnisse geringerer Bedeutung finden sich im Ruhrgebiete bei Dortmund, Hörde, Bochum, Witten, wo dereinst das Auftreten von Kohleneisensteinen, tonigen Sphärosideriten, Brauneisenerzen die Entstehung zahlreicher Eisenwerke veranlafste; ferner in der Eifel, im Erzgebirge (Berggiefshübel, Schwarzenberg), im Fichtelgebirge, im Württemberger Jura[1]) und an mehreren anderen Stellen; die in grofser Verbreitung, aber sehr geringer Mächtigkeit auftretenden Rasenerze der Norddeutschen Tiefebene (Wittenberg, Niederlausitz) wurden bis zur Mitte der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts auf verschiedenen Werken mit Holzkohle verhüttet (Gröditz, Lauchhammer, Tangerhütte u. a.), haben aber, seitdem jene Hochöfen zum gröfsten Teile eingingen, ihre frühere Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb verloren.

Etwa ein Viertel von der Menge der eigenen Erzförderung wird an fremden Erzen nach Deutschland eingeführt, gröfstenteils aus Spanien und Schweden, in geringeren Mengen aus Algier, Ungarn, Nordamerika und anderen Ländern[2]); dagegen wird, wie erwähnt. auch ein reichlicher Teil der in Lothringen und Luxemburg gewonnenen Minette nach Belgien und Frankreich ausgeführt.

Von der Eisenerzeugung Deutschlands wird in jetziger Zeit nur noch eine sehr kleine Menge (im Jahre 1903 6300 t) mit Holzkohlen gewonnen; die übrige Erzeugung entfällt auf den Betrieb mit Koks. Holzkohlenbetrieb findet sich noch in Oberschlesien, am Harze, im Siegerlande.

Von der Steinkohlenförderung Deutschlands entfällt auf das Ruhrgebiet in Rheinland-Westfalen etwas mehr als die Hälfte, auf Oberschlesien ein Viertel, auf ein Gebiet an der Saar ein Zwölftel. Die übrigen Steinkohlen werden, abgesehen von einigen unbedeutenden Vorkommnissen, teils im Königreiche Sachsen (Zwickau), teils in der Gegend bei Aachen, teils in Niederschlesien (Waldenburg) gewonnen. Ziemlich reich ist Deutschland aufserdem an Braunkohlen, welche jedoch für den Eisenhüttenbetrieb nur untergeordnete Bedeutung erlangt haben. Sie sind wasserreich und für Erzeugung hoher Temperaturen wenig geeignet.

Wie in anderen Ländern lag bis vor kurzem der Schwerpunkt des deutschen Eisenhüttengewerbes da, wo die meisten Steinkohlen gewonnen werden, also in Rheinland-Westfalen. Eine dichte Gruppe teilweise hochberühmter Eisenwerke drängt sich in dem verhältnismäfsig kleinen Dreiecke zwischen den Städten Dortmund, Ruhrort und Düsseldorf als Eckpunkten zusammen (Dortmunder Union, Hörde, Bochumer Gufsstahlfabrik, Gutehoffnungshütte in Oberhausen, Schalke, Phönix bei Ruhrort, Rheinische Stahlwerke ebenda, Niederrheinische Hütte, Johannes-

---

[1]) In Württemberg entstand auf Grund dieser Erzvorkommnisse das Eisenwerk Wasseralfingen. Vergleiche J. Schall, Geschichte des Hüttenwerkes Wasseralfingen. Stuttgart 1896.

[2]) Im Jahre 1902 wurden annähernd 4 Millionen Tonnen Erze eingeführt.

hütte und Vulkan in Duisburg, Friedrich-Wilhelmshütte bei Mülheim a. d. Ruhr u. v. a.). Sonstige, teilweise bedeutende Eisenwerke finden sich im Gebiete der Inde bei Aachen (Eschweiler); wichtiger noch ist der schon erwähnte Eisenhüttenbetrieb des Siegerlandes östlich und südöstlich von Cöln. Nördlich von Westfalen schliefst sich die Georgs-Marienhütte an. Ungefähr 40 v. H. der Eisenerzeugung Deutschlands wird von den Eisenwerken des Bezirks geliefert. Die zur Verhüttung gelangenden Erze sind schon in vorstehendem erwähnt worden (Kohleneisensteine und Sphärosiderite Westfalens, Minetteerze Luxemburgs und Lothringens, Rot- und Brauneisenerze von der Lahn, Spateisensteine aus dem Siegenschen und von Osnabrück, ausländische Erze aus Schweden, Spanien, Kanada).

Eine gleiche Bedeutung wie jener Bezirk haben in den letzten Jahren die schon erwähnten Eisenwerke Lothringens, Luxemburgs und des Saargebiets erlangt, welche zum gröfsten Teil die in Lothringen und Luxemburg geförderten Minetteerze unter teilweisem Zusatze von Siegener- und Lahnerzen mit westfälischem und Saarkoks verschmelzen. Die Gruppe liefert ebenfalls etwa 40 v. H. des gesamten erzeugten Roheisens, bisweilen auch noch etwas darüber; auf Luxemburg allein entfallen etwa 12 v. H. der Roheisenerzeugung.

An diese Gruppe reihen sich die im Steinkohlengebiete Oberschlesiens zusammenliegenden, zum Teile schon genannten grofsen Eisenwerke, welche aus den erwähnten oberschlesischen Brauneisenerzen unter Zusatz von ungarischen Spateisensteinen, skandinavischen Magneteisenerzen und einigen anderen fremden Erzen ungefähr 10 v. H. der Gesamterzeugung liefern.

Die Werke des Siegerlandes, welche mit westfälischem Koks die dortigen Spateisenerze verarbeiten, liefern zusammen mit den Werken an der Lahn und in Hessen-Nassau ungefähr 6,5 v. H. der Gesamterzeugung an Roheisen.

Verschiedener auf der Fundstätte der Erze gegründeter, in Norddeutschland, Hessen, der Provinz Nassau und in Bayern verstreut liegender Eisenwerke, welche gröfsere Bedeutung besitzen, wurde schon bei Besprechung der betreffenden Erzvorkommnisse gedacht (Main-Weserhütte, Ilsederhütte, Maximilianshütte bei Saalfeld, Maximilianshütte zu Rosenberg in Bayern, Ambergerhütte u. a. m.).

Grofsbritannien.

(Vergleiche Abbildung 3.)

Kaum ein anderes Land der Erde ist von der Natur mit so reichen Hilfsquellen für die Eisenerzeugung bedacht worden als Grofsbritannien. Zahlreiche Lagerstätten leicht schmelzbarer und zum Teil reicher Eisenerze sowie vortrefflicher Steinkohlen sind über das Land verbreitet, und oft finden sich Erze und Steinkohlen nahe beieinander; schiffbare Kanäle und Flüsse in Verbindung mit einem dichten Netze von Eisenbahnen erleichtern den Verkehr der Eisenwerke sowohl mit den Gewinnungsstätten der Schmelzstoffe als auch mit dem das Land rings einschliefsenden Meere,

welches die Ausfuhr des Eisens auf weite Entfernungen in billiger Weise ermöglicht. Man ist dadurch befähigt, mit verhältnismäfsig niedrigen Kosten das Eisen darzustellen, und grofsbritannisches Eisen vermag auch in fernen Ländern trotz der oft hohen Schutzzölle mit dem einheimischen Eisen in Wettbewerb zu treten. Daher hatte auch das Eisenhüttengewerbe in Grofsbritannien sich früher als in anderen Ländern zum Grofsbetriebe entwickelt, und in zahlreichen Betriebszweigen sind englische Eisenhüttenleute die Lehrmeister für andere Völker gewesen. Eben weil aber Grofsbritannien frühzeitiger als andere Länder seine Hilfsquellen in ausgedehntem Mafse benutzte, mufste sein Anteil an der gesamten Eisenerzeugung der Erde geringer werden, als nunmehr in jenen anderen Ländern, in erster Reihe in den Vereinigten Staaten Nordamerikas und in Deutschland, der Eisenhüttenbetrieb sich in stärkerem Mafse entwickelte, infolge davon die Gesamterzeugung an Eisen gesteigert und die Ausfuhr aus Grofsbritannien erschwert wurde. Während im Jahre 1850 Grofsbritannien noch ungefähr die Hälfte alles auf der Erde erzeugten Eisens lieferte[1]), beträgt sein Anteil an der Gesamterzeugung im Jahre 1903 etwa ein Fünftel. Bis zum Jahre 1890 stand Grofsbritannien an der Spitze der eisenerzeugenden Länder; damals traten die Vereinigten Staaten an seine Stelle, und im Jahre 1903 ist es an die dritte Stelle gerückt, während Deutschland die zweite eingenommen hat. Seit dem Jahre 1879 ist die Eisenerzeugung Grofsbritanniens auf das Anderthalbfache, Deutschlands auf das Viereinhalbfache, der Vereinigten Staaten auf das Sechseinhalbfache gestiegen.

Irland nimmt an der Eisenerzeugung Grofsbritanniens nur in unbedeutendem Mafse Anteil und kann hier aufser Betracht bleiben. Schottland liefert etwa ein Achtel der Gesamterzeugung Grofsbritanniens.

Die wichtigeren Erzvorkommnisse Grofsbritanniens befinden sich zwischen dem 52. und 56. Grade nördlicher Breite. Arm an Eisenerzen und Kohlen ist das nördliche Schottland und der südlichste Teil Englands.

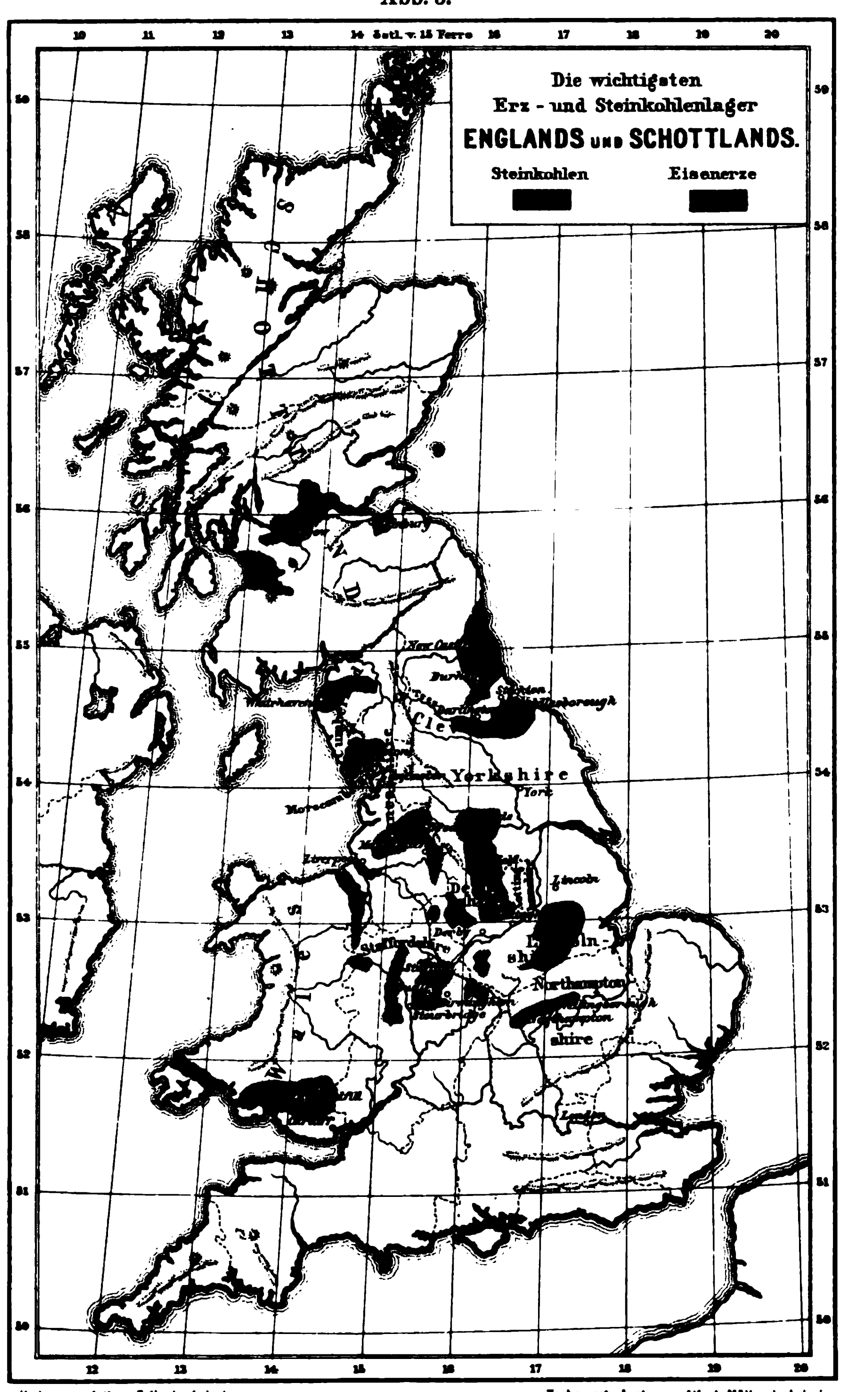
Im südlichen Schottland deckten die in der Umgegend von Glasgow in der Kohlenformation auftretenden Kohleneisensteine und tonigen Sphärosiderite seit dem Anfange bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts den Hauptbedarf der dort entstandenen zahlreichen Eisenwerke; inzwischen sind jene Lagerstätten jedoch zum grofsen Teile abgebaut, und die Erzförderung Schottlands, welche um 1850 etwa 2500000 t betrug, hat sich seitdem auf ungefähr ein Drittel dieses Betrages verringert. Von der gesamten Erzförderung Grofsbritanniens liefern die schottischen Eisenerzgruben etwa 9 v. H.

Südwestlich von Schottlands Grenze an der Westküste des nördlichen Englands, in Cumberland, treten in der Umgegend von Whitehaven vorzügliche reine Roteisenerze in Lagerstätten bis zu 15 m Mächtigkeit auf, welche teils auf Eisenwerken in un-

---

[1]) In dem genannten Jahre betrug die Gesamterzeugung der Erde 4,7 Millionen Tonnen, von denen Grofsbritannien 2¼ Millionen Tonnen lieferte.

Abb. 3.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

mittelbarer Nähe verhüttet, teils ihres hohen Eisengehalts halber auch nach anderen Bezirken Großbritanniens versandt werden. Die Erzförderung Cumberlands beträgt ungefähr 10 v. H. der Gesamtförderung.

Südlich von Cumberland, unmittelbar an dieses grenzend, beginnt das ebenfalls durch reiche Vorkommnisse von Roteisenerzen wichtige Gebiet von Lancashire. In der Umgegend von Ulverstone, nördlich von Lancaster und der Morecambe-Bai bedecken diese teilweise sehr mächtigen Erzlager eine ansehnliche Fläche. Etwa 8 v. H. aller großbritannischen Erze wird hier gewonnen.

Die in Wales auftretenden Kohlen-, Rot-, und Brauneisenerze, welche dereinst das Aufblühen des dortigen Eisenhüttenbetriebes veranlaßten, sind inzwischen großenteils abgebaut und besitzen nur noch untergeordnete Bedeutung.

Nordöstlich von Südwales befinden sich die Gebiete von Staffordshire, Derbyshire, Lincolnshire und Northamptonshire. Zwischen den Kohlenlagern in Staffordshire und Derbyshire traten früher in reichlicher Menge Kohleneisensteine und Sphärosiderite auf, welche auf umliegenden Werken verschmolzen wurden; aber auch hier zeigt sich die beginnende Erschöpfung der Vorräte, und insbesondere ist in Derbyshire die Erzförderung unbedeutend geworden. Dagegen liefert Lincolnshire noch reichliche Mengen von Erzen, großenteils Brauneisenerzen, und ebenfalls findet in Northamptonshire eine ansehnliche Eisenerzförderung statt, gleichfalls aus Brauneisenerzen bestehend, vornehmlich in der Umgegend der Stadt Wellingborough. Die genannten Gebiete zusammen liefern etwa 30 v. H. der Erzförderung Großbritanniens.

Ein von Derbyshire aus in den südlichen Teil von Yorkshire sich erstreckendes Steinkohlenlager enthält in der Umgegend von Sheffield und Bradford auch Eisenerze (Kohleneisensteine, Sphärosiderite); weit größere Bedeutung aber besitzen zwei im Norden Yorkshires, südlich von dem bei Middlesborough mündenden Flusse Tees gelegene Shärosideritlager, deren größeres eine Fläche von etwa 52000 Hektaren bedeckt, eine Mächtigkeit von 2,5 bis 4 m besitzt und den Abbau mit geringen Kosten ermöglicht. Seit dem Jahre 1840, in welchem man mit dem Abbau der Erze begann, hat sich die dortige Erzförderung trotz des ziemlich niedrigen Eisengehalts der Erze zu der ergiebigsten von ganz Großbritannien entwickelt; annähernd 40 v. H. aller großbritannischen Eisenerze wird hier gewonnen. Man nennt diesen für den großbritannischen Eisenhüttenbetrieb hochwichtigen Bezirk Cleveland.

Alle diese Erzvorkommnisse sind jedoch nicht ausreichend, den Bedarf Großbritanniens an Eisenerzen, insbesondere an eisenreichen und phosphorarmen Eisenerzen, zu decken. Mehr als ein Drittel des Gesamtbedarfs wird deshalb aus dem Auslande eingeführt (1903 7 Millionen Tonnen); vornehmlich aus Spanien, welches den größten Teil seiner eigenen Erzförderung den großbritannischen Eisenwerken liefert.

Größer noch als der Reichtum Großbritanniens an Eisenerzen ist sein Reichtum an Steinkohlen.

In Schottland findet sich ein Kohlenfeld in der Umgegend von Glasgow, von der Ostküste aus sich erstreckend, welches vorwiegend langflammige, nicht verkokungsfähige und deshalb in rohem Zustande für den Hochofenbetrieb verwendete Steinkohlen liefert.

Geringer ist die Bedeutung eines in Cumberland auftretenden Kohlenfeldes; zahlreiche Flötze finden sich weiter südlich in Lancashire.

Ein in Südwales in der Umgegend von Merthyr Tydfill auftretendes Kohlenbecken, welches eine Fläche von nahezu 1500 qkm bedeckt, liefert zahlreichen Eisenwerken den Brennstoff[1]; minder wichtig ist ein Kohlenvorkommnis in Nordwales. Etwa ein Siebentel der gesamten Steinkohlenförderung Grofsbritanniens stammt aus Südwales.

Reich an Steinkohlen ist ferner der mittlere Teil Englands, Staffordshire und Derbyshire, von wo aus das Kohlenlager sich bis in den südlichen Teil von Yorkshire hinein erstreckt.

Grofse Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb Grofsbritanniens besitzt endlich auch das berühmte Steinkohlenfeld von Durham und Northumberland an der Ostküste Englands, etwas südlich von der schottischen Grenze eine Oberfläche von etwa 1200 qkm bedeckend, unweit der südlich davon gelegenen und obenerwähnten Eisenerzlagerstätten in Cleveland.

In allen den genannten Steinkohlenbezirken hat sich ein zum Teil sehr grofsartiger Eisenhüttenbetrieb entwickelt. In Schottland findet man eine Reihe bedeutender Eisenwerke auf dem Landstriche zwischen der Mündung des Clyde bei Glasgow und der Mündung des Forth bei Edinburg (Coltnefs, Langloan, Gartsherry, Monkland, Glengarnock u. a.), mit den schottischen Kohlen teils die einheimischen, teils fremde Erze verhüttend; der Anteil dieses Bezirkes an der Gesamt-Roheisenerzeugung beträgt etwa 14 v. H. Eisenwerke in Cumberland und Lancashire verarbeiten die dort auftretenden Roteisenerze mit den in der Nähe gewonnenen Kohlen und liefern ungefähr 15 v. H. der Gesamterzeugung. Auch in Südwales ist in dem Steinkohlenbezirke ein ziemlich umfangreicher Eisenhüttenbetrieb entstanden, obgleich Eisenerze, wie erwähnt, dort nur noch spärlich vorhanden sind (Eisenwerke Dowlais, Ebbw Vale u. a.). Seit alters her als eisenerzeugende Bezirke berühmt sind ferner Staffordshire, Derbyshire, Lincolnshire, wo in der Umgegend der Städte Dudley, Birmingham, Stourbridge, Sheffield eine grofse Anzahl bedeutender Eisenwerke sich findet; der Schwerpunkt der englischen Eisendarstellung aber liegt in jener Gegend am Tees in Cleveland, wo nach Auffindung der erwähnten Sphärosideritlager ein grofsartiger Eisenhüttenbetrieb sich entfaltet hat, dessen Aufblühen durch die Nähe der Kohlenlager von Durham und Northumberland und des an der Mündung des Tees gelegenen Hafenortes Middlesborough wesentlich gefördert wurde. Mehr als ein Fünftel alles grofsbritannischen Roheisens wird in Cleveland

[1]) Näheres über die Kohlenförderung in Südwales: „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 743 (aus Iron and Coal Trades Review 1897).

allein, mehr als ein Drittel in Cleveland und Durham zusammen gewonnen[1]).

Frankreich.

Frankreich ist nicht reich an Eisenerzen, und die französischen Eisenhütten haben mit ähnlichen, teilweise noch mit gröfseren Schwierigkeiten als die deutschen zu kämpfen. Wenn es trotzdem den französischen Eisenhüttenleuten gelang, dem Eisengewerbe Frankreichs eine der Gröfse und Bedeutung des Landes entsprechende Entfaltung zu verschaffen, so gebührt ihrer Tatkraft und ihrer durch Wissenschaftlichkeit gestützten Umsicht dafür alle Anerkennung.

Roteisensteine in gröfserer Mächtigkeit treten im Departement Ardèche bei dem Orte Privas (Rhonegebiet südlich von Lyon) und westlich davon im Departement Aveyron bei Decazeville auf. Häufiger finden sich Brauneisenerze, in den Pyrenäen als brauner Glaskopf, als mulmiger, gewöhnlich phosphorreicher Brauneisenstein in der Champagne, als oolithisches Erz und Bohnerz in der Franche-Comté, der Champagne, in Berry, den Ardennen; und weiter nördlich in dem französischen Lothringen bildet die Minette ebenso wie in Deutsch-Lothringen und Luxemburg ein wichtiges Erzvorkommnis. Spateisensteine treten in den Alpen und Pyrenäen auf: Magneteisenerze sind ziemlich selten.

Die Menge der an der Ostgrenze Frankreichs gewonnenen Minetteerze beträgt etwa 89 v. H. der Gesamterzförderung. Grofse Mengen fremder Erze (im Jahre 1903 = 1833000 t) werden von auswärts, vorwiegend aus Deutschland, eingeführt.

Reicher als an Erzen ist Frankreich an Steinkohlen. Im Norden erstreckt sich von der Grenze Belgiens in westlicher Richtung durch die beiden Departements Nord und Pas-de-Calais ein Kohlenbecken mit zahlreichen Flötzen (Valenciennes, Anzin), teils anthrazitartige, teils gut zur Verkokung geeignete Kohlen enthaltend, welches über die Hälfte aller französischen Kohlen liefert. Ein zweites Becken, das Burgunder Kohlenbecken, findet sich am rechten Ufer der Saône innerhalb des Saône- und Loiredepartements von Autun bis Charolles und enthält Flötze von teilweise bedeutender Mächtigkeit (Creusot, Epinac, Blanzy); wichtiger noch ist ein südlich von diesem im Loiredepartement bei den Städten Lyon, Rive de Gier, St. Etienne gelegenes Becken, welches verschiedene gröfsere Eisenwerke mit Kohlen und Koks versorgt. Bei Alais im Garddepartement, westlich von dem unteren Laufe der Rhone, finden sich ebenfalls bedeutende Steinkohlenlager, welche besonders den südlichen Eisenwerken die Brennstoffe liefern; auch ein im Allierdepartement westlich vom Flusse Allier bei den Städten Commentry und Bézenet auftretendes Steinkohlenbecken verdient Erwähnung.

Dem geschilderten Vorkommen der wichtigsten Eisenerzlager

---

[1]) Näheres über die Roheisenerzeugung der einzelnen Bezirke Grofsbritanniens: „Stahl und Eisen" 1905, Seite 438.

und Kohlenbecken entsprechend, beschränkt sich die Eisenerzeugung Frankreichs vornehmlich auf den östlichen und südöstlichen Teil und ist ziemlich unbedeutend im Westen und Nordwesten. Unbedeutend ist der Betrieb mit Holzkohlen; die Menge des mit diesem Brennstoffe gewonnenen Roheisens beträgt ungefähr 0,3 v. H. der Gesamterzeugung.

Eine Gruppe von teils gröfseren, teils kleineren Eisenwerken befindet sich in der Nähe der belgischen Grenze im Departement Nord und Pas-de-Calais und verhüttet sowohl die dort auftretenden oolithischen und tonigen Brauneisenerze als auch Erze aus Afrika und Spanien mit Koks aus dem eigenen Bezirke und aus Belgien (Eisenwerke Denain, Anzin, La Providence in Hautmont, Isbergues u. a.). Südöstlich von hier in der Nähe teils von Longwy, teils von Nancy trifft man auf eine zweite, noch gröfsere Gruppe von Hochofenanlagen, welche ebenso wie die benachbarten Werke Deutsch-Lothringens grofsenteils Verhüttung der dort auftretenden Minette zum Zwecke haben (Mont-Saint-Martin, Saulnes, Longwy, Réhon, Villerupt, Joeuf u. a., sämtlich im Bezirke Longwy; ferner Jarville, Pont-Saint-Vincent, Frouard, Pont-à-Mousson u. a. im Bezirke Nancy[1]). Die Departements Nord und Pas-de-Calais liefern zusammen ungefähr 14,5 v. H., das Departement Meurthe-et-Moselle allein etwa 62 v. H. alles in Frankreich erzeugten Eisens.

Kleinere Werke, welche die phosphorreichen Brauneisenerze der Champagne verarbeiten, liegen auf dem linken Ufer der Marne. Gröfsere Bedeutung als diese besitzen einige im Gebiete der Loire und Rhone gelegenen Werke. Hier befindet sich das grofse Werk Le Creusot mit fünf Hochöfen in der Nähe des obenerwähnten Burgunder Steinkohlenbeckens; weiter südlich im Departement le Gard das Werk Bessèges mit sieben Hochöfen.

Rufsland.

Jenes Hemmnis für das lebhafte Aufblühen des Eisengewerbes, die grofsen Entfernungen zwischen der Lagerstätte der Erze und derjenigen mineralischer Brennstoffe oder auch zwischen dem Erzeugungsorte und dem Verbrauchsorte des Eisens bei beschränkten Verkehrsmitteln, zeigt in Rufsland deutlich seinen Einflufs. Rufsland ist reich an Eisenerzen; Holz ist an manchen Orten noch im Überflufs vorhanden; Steinkohlenlager von teilweise bedeutender Ausdehnung und Mächtigkeit sind in einigen Gegenden aufgeschlossen. Die grofsen Entfernungen aber sowohl zwischen einzelnen dieser Vorkommnisse und den Küstengebieten, wo naturgemäfs der lebhaftere Handel auch den Eisenverbrauch begünstigt, als auch zwischen den wichtigsten Fundstätten der Erze und denen der Mineralkohlen erschwert die ausgiebige Verwertung dieser Reichtümer. Durch den Bau von Eisenbahnen und Vervollkommnung der Wasserverbindungen

[1]) Einiges Nähere über die Werke der Bezirke Longwy und Nancy: „Stahl und Eisen" 1895, Seite 384; Verzeichnis sämtlicher Hochofenwerke Frankreichs: „Stahl und Eisen" 1901, Seite 143.

hat man in den letzten Jahrzehnten diese Schwierigkeiten abgemindert; durch einen hohen Schutzzoll hat die russische Regierung den Wettbewerb des Auslandes erheblich eingeschränkt; so ist es gekommen, dafs Rufsland, welches unter den eisenerzeugenden Ländern im Jahre 1890 mit einer Jahreserzeugung von 750000 t noch an siebenter Stelle stand, inzwischen seine Eisenerzeugung auf das Dreifache erhöht hat und infolge davon an die fünfte Stelle aufgerückt ist, während einiger Jahre sogar die vierte Stelle eingenommen hatte.

Besonders reich an Eisenerzen ist der Ural. Mächtige Lager von Magneteisenerzen finden sich in den Regierungsbezirken Perm und Orenburg; der Ort Visokaja-Gora im Permer Bezirk liefert allein jährlich etwa eine halbe Million Tonnen vortrefflicher Magneteisenerze an verschiedene umliegende Eisenhütten. Auch Lager hochhaltiger Brauneisenerze werden an verschiedenen Stellen des Ural abgebaut (Jekatherinenburg, Ir-Kiskau u. a. a. O.). Die Erze werden mit Holzkohlen in zahlreichen, zum Teil bedeutenden Eisenwerken verhüttet, und die Eisenerzeugung des Ural beträgt in der Jetztzeit etwa 25 v. H. der Gesamt-Erzeugung Rufslands (im Jahre 1903 = 650000 t). Jüngere Brauneisenerze und Sphärosiderite, häufig phosphorhaltig, werden in den südlich von Moskau gelegenen Bezirken (Tula, Kaluga, Orlow, Tambo u. a.) gewonnen; Rasenerze sind sehr verbreitet in verschiedenen Bezirken; Eisenglanz findet sich am Tulmsee, 42 m vom Ladogasee entfernt, in der Nähe der Grenze Finnlands. Auch diese Erze werden in verschiedenen kleineren oder gröfseren Werken teils mit Holzkohlen, teils mit Koks aus dem Donezbecken verschmolzen.

Die gröfste Bedeutung für den russischen Eisenhüttenbetrieb der Jetztzeit hat jedoch ein in der Nähe der Stadt Krivoi-Rog im Süden Rufslands (Gouvernement Cherson) aufgeschlossenes Vorkommnis reicher, mit geringen Kosten zu gewinnender Roteisenerze gewonnen, welches in einer Breite von ungefähr 7½ km und einer Länge von etwa 55 km sich von Norden nach Süden erstreckt und etwa die Hälfte aller in Rufsland geförderten Eisenerze liefert[1]. Nordöstlich von diesem Erzlager, etwa 450 km davon entfernt, findet sich das wichtigste Steinkohlenlager Rufslands, das Donezbecken, nördlich vom Asowschen Meere, westlich vom Flusse Donez durch den südlichen Teil des Gouvernements Charkow, das Gouvernement Jekaterinoslaw und das Land der donischen Kosaken sich erstreckend. Es bedeckt eine Fläche von 30000 qkm, ungefähr so grofs als das Königreich Belgien, und ist das ausgedehnteste Steinkohlenlager ganz Europas. In dieser Gegend, und zwar teils in dem Steinkohlen-, teils in dem Erzbezirke, teils auch in der Mitte dazwischen, entwickelte sich, nachdem man angefangen hatte, Eisenbahnen in gröfserem Umfange zu bauen, verhältnismäfsig rasch ein umfänglicher Eisenhüttenbetrieb; schon jetzt hat die Eisenerzeugung dieses Bezirkes die des Urals überholt. Hier liegt in der Jetztzeit und voraussichtlich auf lange Zeit hinaus der Schwerpunkt des

[1]) Im Jahre 1885 gewann man 25000 t Erz; im Jahre 1898 war die Förderung bereits auf 2000000 t gestiegen.

russischen Eisenhüttenbetriebes. Etwas mehr als die Hälfte alles russischen Eisens (im Jahre 1903 = 1366000 t) wird hier erzeugt. Bedeutende Hüttenwerke des Steinkohlengebietes finden sich in Youzowo und Droujkowka; zwischen dem Kohlen- und Erzgebiete liegen die Werke von Kamenskoje und Jekaterinoslaw; im Erzgebiete Krivoi-Rog.

Ein zweites Steinkohlenbecken findet sich in Polen, an das oberschlesische Becken sich anschließend, und hat hier ebenfalls zur Entstehung einiger größeren Eisenwerke (z. B. Huta Bankowa) Veranlassung gegeben, obgleich die Eisenerze nach dorthin zum großen Teil aus der Ferne (Südrußland, Ungarn) bezogen werden müssen und die Kohlen nicht oder nur zum geringen Teile verkokungsfähig sind, so daß man gezwungen ist, oberschlesische und mährische Koks zu verwenden. Von der Gesamt-Eisenerzeugung Rußlands entfällt auf Polen ungefähr ein Achtel.

Während noch in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts das Verhältnis des mit mineralischen Brennstoffen gewonnenen Eisens zu dem mit Holzkohlen erzeugten ziemlich unbedeutend war, hat das erwähnte Aufblühen des südrussischen Eisenhüttenbetriebes die Folge gehabt, daß seit dem Jahre 1896 mehr Eisen mit mineralischen Brennstoffen als mit Holzkohlen erzeugt wird, und je mehr die Verkehrsmittel an Ausdehnung gewinnen, desto mehr wird der Holzkohlenbetrieb an Bedeutung verlieren. Ungefähr ein Drittel des russischen Roheisens entstammt in der Jetztzeit dem Betriebe mit Holzkohlen, zwei Drittel dem Betriebe mit Koks.

Österreich-Ungarn.

Ähnliche Schwierigkeiten wie in Rußland setzen sich einer umfänglichen Entwicklung des österreichisch-ungarischen Eisenhüttenbetriebes entgegen. Zwar besitzen Österreich und Ungarn verschiedene mächtige Lagerstätten vortrefflicher Eisenerze, aber nur vereinzelt, und weit von den wichtigeren Erzlagerstätten entfernt, treten mineralische Brennstoffe auf, welche mit Vorteil für die Verhüttung der Erze benutzt werden könnten. Diese Schwierigkeiten werden durch die Lage der genannten Länder und die teilweise noch beschränkten Verkehrsverhältnisse, insbesondere den Mangel geeigneter Wasserverbindungen, erhöht; so erklärt es sich, daß die Menge des in Österreich-Ungarn erzeugten Eisens nicht ganz so beträchtlich ist, als man im Hinblick auf die Erzvorkommnisse anzunehmen geneigt sein dürfte, obgleich Österreichs Eisenerzeugnisse zu den vorzüglichsten der Erde gehören und die Einrichtung einzelner österreichischer Werke als musterhaft bezeichnet werden müssen.

Von der Eisenerzförderung Österreich-Ungarns entfällt auf Österreich etwas mehr, auf Ungarn etwas weniger als die Hälfte. In Österreich besitzt das Spateisensteinlager des Steirischen Erzbergs zwischen den Städten Eisenerz und Vordernberg die größte Bedeutung. Die Mächtigkeit des Lagers erreicht 150 m; schon zu der Römerzeit wurde hier Bergbau getrieben, und in der Jetztzeit versorgt der Erzberg nicht nur sämtliche steirische Eisen-

werke, sondern auch entfernter liegende Werke des In- und Auslandes mit Erzen. Von der Gesamterzförderung Österreichs (ohne Ungarn) liefert der steirische Erzberg reichlich die Hälfte[1]).

In Böhmen ist vornehmlich das Nucicer Erzlager in der Gegend von Prag und Kladno von Bedeutung für die dortigen Eisenwerke. Es erstreckt sich in einer Länge von 8 km und erreicht an einzelnen Stellen eine Mächtigkeit von 18 m. Die Erze sind tonige Sphärosiderite und Brauneisenerze, zwar nicht sehr reich und mitunter durch unerwünschte Fremdkörper stark verunreinigt, aber billig zu gewinnen. Etwa ein Drittel der gesamten Erzförderung Österreichs entstammt diesem Lager.

Erzvorkommnisse geringerer Bedeutung finden sich in Kärnten, Mähren und Schlesien.

Nur zwei Bezirke Osterreichs liefern Steinkohlen in solcher Menge und von solcher Beschaffenheit, dafs ihr Vorkommen für den Eisenhüttenbetrieb von Bedeutung geworden ist. In Österreichisch-Schlesien und Nordmähren in der Umgegend von Mährisch-Ostrau findet sich das Ostrau-Karwiner Becken, welchem fast zwei Drittel der österreichischen Steinkohlenförderung entstammen (im Jahre 1903 = 6400000 t); in Böhmen bei Rakonitz und Kladno in unmittelbarer Nachbarschaft des erwähnten Nucicer Erzlagers das böhmische Steinkohlenbecken (vergleiche oben Abbildung 2). Die Kohlen des zuerst genannten Beckens sind leicht verkokungsfähig und aus diesem Grunde für die Verhüttung von Erzen gut geeignet; die böhmischen Kohlen besitzen jene Eigenschaft in geringerem Mafse und haben sich deshalb für den erwähnten Zweck als weniger brauchbar erwiesen, während sie für andere Zwecke des Eisenhüttenbetriebes in reichlicher Menge benutzt werden.

Grofs ist der Reichtum Österreichs an vortrefflichen Braunkohlen, welche zwar nicht für die Erzverarbeitung, wohl aber für sonstige Verfahren der Eisendarstellung Verwendung finden können und zum Teil selbst nach deutschen (insbesondere sächsischen) Eisenwerken geliefert werden. Ihre Förderung betrug im Jahre 1903 22000000 t, während die Steinkohlenförderung Österreichs nur halb so viel, d. i. 11000000 t, betrug. Die mächtigsten Lagerstätten besitzt Nordböhmen; auch in Steiermark werden Braunkohlen gewonnen und für den Eisenhüttenbetrieb verwendet.

Von der gesamten Eisenerzeugung Österreichs (ohne Ungarn) entfällt auf Steiermark und Böhmen je etwa 29 v. H., auf Mähren 27 v. H.; der Rest wird in Österreichisch-Schlesien, auf einem Hochofenwerke in Triest, im Salzburgischen, in Tirol, Krain und Galizien gewonnen. In Mähren befindet sich das gröfste Werk Österreichs, Witkowitz, dessen Erzeugung allein etwa ein Fünftel der Gesamterzeugung Österreichs ausmacht. Die zur Verhüttung kommenden Erze werden gröfstenteils aus Ungarn und Schweden bezogen; nur einen kleinen Teil liefert Mähren selbst. Die bedeutendsten

[1]) Näheres über den steirischen Erzberg und den dortigen Betrieb: F. Kupelwieser, Über die Bedeutung des steiermärkischen Erzberges. Sonderabdruck aus der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1893, Nr. 22.

böhmischen Eisenwerke sind Kladno und Königshof, beide in der Nähe der erwähnten Erz- und Kohlenlager gegründet.

In Steiermark gestaltet die weite Entfernung von den Steinkohlenbezirken und der zunehmende Holzkohlenmangel die Verhältnisse für den Eisenhüttenbetrieb trotz des Reichtums an Eisenerzen ziemlich schwierig. Einige Werke in Vordernberg, Trofaiach und anderwärts arbeiten noch mit Holzkohlen; andere (Donawitz, Zeltweg, Hieflau, Eisenerz) sind zum Betriebe mit Koks übergegangen, welche mit Bahnfracht aus Westfalen und Schlesien bezogen werden.

In Ungarn finden sich an verschiedenen Stellen Erze von vorzüglicher Beschaffenheit, vornehmlich Spateisensteine und die aus deren Zersetzung hervorgegangenen Brauneisensteine. Im Norden sind vornehmlich die aneinandergrenzenden Komitate Sohl (ungarisch Zólyom) Zips (Szepes), Aban-Tornaj, Gömör und Borsod reich an jenen Erzen, deren Lagerstätten an einzelnen Stellen eine Mächtigkeit von über 30 m erreichen (Gömörer Erzberg, ungarisch Vashegy)[1]. Im südlichen Ungarn ist an erster Stelle Siebenbürgen reich an Eisenerzen; der im Komitate Hunyad sich erstreckende Gebirgszug Pojana-Ruszka birgt die bedeutendsten Brauneisenerzlager Ungarns, welche zum Teil eine Mächtigkeit bis 150 m erreichen. In dem an Hunyad angrenzenden Komitate Krassó-Szörény werden Magneteisenerze gewonnen.

Steinkohlenlager werden in verschiedenen Gegenden abgebaut (Fünfkirchen im Komitat Baranya, ferner im Komitat Krassó-Szörény und in Salgó Tarjan im Komitat Neograd); aber es fehlt ihnen entweder die erforderliche Mächtigkeit oder die ausreichende Beschaffenheit, um die Entwicklung eines ausgedehnten Betriebes zu ermöglichen. Reicher ist Ungarn an Braunkohlen (Komitate Neograd, Borsod, Krassó-Szörény u. a.), welche auf verschiedenen Eisenwerken Verwendung finden.

Von den im Norden gewonnenen Erzen wird ein Teil nach den in Mähren (Witkowitz), Schlesien und Oberschlesien belegenen Eisenwerken versandt, ein anderer Teil auf den in der Nähe der Fundstätten belegenen Eisenwerken (Likér, Tiszolcz, Szalócz, Krompach, Sztraczena u. a.) teils mit Holzkohlen, teils auch mit oberschlesischem oder Ostrauer Koks verschmolzen. Auch auf den in der Nähe der südlichen Erzgruben belegenen Eisenwerken erfolgt der Betrieb noch grofsenteils mit Holzkohle: verschiedene Werke betreiben einzelne Öfen mit Koks und andere mit Holzkohlen (Vagda-Hunyad, Kalán u. a. in Hunyad, Reschitza, Anina u. a. in Krassó-Szörény)[2].

Von der Gesamt-Eisengewinnung Österreich-Ungarns liefert Ungarn ungefähr ein Viertel.

[1]) Näheres über die Erzgewinnung im Gömörer Komitate: „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 885.

[2]) Eingehendere Mitteilungen über die Vorkommnisse an Eisenerzen und Kohlen in Ungarn enthält das Buch: Der tausendjährige ungarische Staat und sein Volk, von Jekelfalussy, Budapest 1896, Seite 566; auch Jahrbuch der k. k. Bergakademien 1896, Seite 387, 419, 440; Iron and Coal Trades Review, Bd. 55 (1897), Seite 812 (letzterer Bericht auch im Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II). Vergleiche ferner Literatur.

Belgien.

Günstige Verkehrsverhältnisse, Reichtum an Steinkohlen und daneben ein allerdings beschränktes Vorkommen von Eisenerzen liefsen in Belgien einen im Verhältnisse zu der Gröfse des Landes bedeutenden Eisenhüttenbetrieb emporblühen. Jene früher (Seite 20) erwähnten Minettelager Lothringens und Luxemburgs senden ihre Ausläufer bis nach Belgien hinein; Rot- und Brauneisenerze fanden sich früher, zum Teil in ansehnlicher Mächtigkeit, im Gebiete der Maas und nördlich von Namur bis Ligny, sind aber in den letzten Jahrzehnten zum grofsen Teile abgebaut. Die Gesamtmenge der im eigenen Lande gewonnenen Erze beträgt nur ungefähr ein Zehntel von der Menge der verhütteten. Die übrigen Erze werden aus den benachbarten Minettebezirken sowie aus Spanien, Algier, Schweden eingeführt, und wenn auch die Einfuhr durch die Nähe des Meeres erheblich erleichtert ist, so erklärt sich doch aus diesem Mangel an eigenen Erzen die Tatsache, dafs in den letzten Jahren Belgiens Eisenerzeugung nicht in dem Verhältnisse wie diejenige anderer Länder zugenommen hat. Während bis 1889 Belgien unter den eisenerzeugenden Ländern an fünfter Stelle sich befand, ist es seit 1890 hinter Österreich-Ungarn und Rufsland zurückgeblieben.

Die für den Eisenhüttenbetrieb Belgiens benutzten Steinkohlen liefert das auch im Nordosten Frankreichs auftretende, oben erwähnte Becken, welches als schmaler Streifen vom Nordabfalle der Ardennen das Maastal entlang über Namur, Lüttich quer durch ganz Belgien hindurch bis nach Rheinpreufsen hinein sich erstreckt. In diesem Steinkohlenbezirke, wo zugleich ein Netz zahlreicher Eisenbahnen und schiffbarer Gewässer den Verkehr erleichtert, finden sich die wichtigsten Eisenwerke Belgiens (Seraing, Ougrée, Espérance, Tilleur-Sclessin, sämtlich bei Lüttich, weiter südwestlich bei Charleroy Providence, Monceau u. a. m.)[1]).

Schweden.

Die für den Umfang des schwedischen Eisenhüttenbetriebes mafsgebenden Verhältnisse sind denen des Urals, der österreichischen Alpenländer, auch Ungarns insofern ähnlich, als auch Schweden reich ist an vorzüglichen Eisenerzen, während mineralische Brennstoffe fast gänzlich fehlen[2]). Es kommt hinzu, dafs der Besitz der ausgedehnten Erzlagerstätten zum Teil zersplittert ist, wodurch ihre Ausbeutung im grofsen — etwa unter Benutzung fremder Koks — erschwert wird. Aus diesem Grunde ist Holzkohle, unter Umständen in Gemeinschaft mit rohem Holze, der für die Roheisendarstellung fast allein benutzte Brennstoff; nur vereinzelt setzt man den Holzkohlen Koks zu.

Die für die Eisenerzeugung des eigenen Landes wichtigsten

---

[1]) Einiges Nähere: Journal of the Iron and Steel Institute 1894, II, Seite 7, 11; „Stahl und Eisen" 1899, Seite 326.

[2]) Steinkohlen werden im südlichsten Teile Schwedens (Schonen) in dem auf Seite 15 angegebenen Betrage gefördert.

Erzvorkommnisse finden sich in einem Gebiete, welches sich zwischen dem 59. und 61. Breitengrade von Nordost nach Südwest erstreckt; die innerhalb dieses Gebietes liegenden Statthalterschaften Kopparberg, Örebro, Westmanland, Wermland und Upsala sind vornehmlich durch Erzreichtum ausgezeichnet. Kopparberg allein liefert ungefähr 35 v. H., die anderen vier genannten Statthalterschaften zusammen 25 v. H. der gesamten Erzförderung. Die in diesen Bezirken auftretenden Erze bestehen hauptsächlich aus Magneteisenerzen, zum geringeren Teile aus Eisenglanz und Roteisenstein, und man bezeichnet diese Erzgattungen in Schweden mit dem gemeinschaftlichen Namen Bergerze; See- und Rasenerze werden in Småland gewonnen. Die Bergerze sind zum Teil ausgezeichnet durch geringen Phosphorgehalt; seiner Reinheit von Phosphor und der hierauf beruhenden grofsen Zähigkeit verdankt das schwedische Eisen eine Berühmtheit, die ihm, sowohl dem Roheisen als dem schmiedbaren Eisen, auch im Auslande Verbreitung gesichert hat. Phosphorhaltige Magneteisenerze (z. B. von Grängesberg in Kopparberg) werden auch aufserhalb Schwedens (insbesondere in Deutschland) ihres hohen Eisengehaltes halber in solchen Fällen mit Vorliebe verwendet, wo der Phosphorgehalt keinen Nachteil bringt oder sogar erwünscht ist (Thomasroheisendarstellung).

Von grofser Bedeutung für die Gewinnung von Erzen, welche für die Ausfuhr (nach Deutschland, Grofsbritannien, Österreich) bestimmt sind, ist seit dem Jahre 1890 ein Erzvorkommen in Lappland, Provinz Norbotten, geworden. Es besteht aus reichen, zum Teil phosphorarmen, zum Teil phosphorreicheren Magneteisenerzen in der Nähe des Ortes Gellivara unter 70° 6′ nördlicher Breite, besitzt eine Längenausdehnung von etwa 10 km und erreicht an einzelnen Stellen eine Mächtigkeit von mehr als 100 m. Durch eine 220 km lange Bahn ist Gellivara mit dem am Bottnischen Meerbusen gelegenen Hafenorte Luleå verbunden, wo die Verschiffung nach dem Auslande erfolgt. Seit dem genannten Jahre hat die Förderung von Gellivaraerzen stetig zugenommen, so dafs sie etwas mehr als ein Viertel der Gesamt-Erzförderung Schwedens beträgt. Vorwiegend sind deutsche Eisenwerke die Abnehmer dieser Erze [1]).

Die wichtigsten Eisenwerke Schwedens finden sich in den Statthalterschaften Kopparberg und Örebro, deren jede etwas mehr als 25 v. H. der schwedischen Roheisenerzeugung liefert. Das gröfste schwedische Eisenwerk ist Domnarfet in Kopparberg. Auch in der östlich an Kopparberg grenzenden Statthalterschaft Gefleborg hat sich ein ansehnlicher Eisenhüttenbetrieb entwickelt, und etwa 13,5 v. H. der Gesamterzeugung werden dort gewonnen, während Wermland 10 v. H. liefert.

---

[1]) Näheres über dieses Erzvorkommen und dasjenige von Grängesberg in den Provinzen Örebro und Kopparberg, welches, wie schon erwähnt, den deutschen Werken gleichfalls reichliche Erzmengen liefert, in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

Spanien.

Spanien ist ein erzreiches Land und nimmt unter den eisenerzfördernden Ländern die vierte Stelle ein. Von der Gesamt-Erzförderung liefert Spanien etwa ein Zwölftel, fast so viel, als Österreich-Ungarn und Rufsland zusammengenommen. Wenn trotzdem die Eisenerzeugung Spaniens nicht bedeutend ist und weit hinter derjenigen der genannten Länder zurücksteht, so findet diese Tatsache teils in den wirtschaftlichen und politischen Verhältnissen des Landes, vornehmlich auch in dem Umstande ihre Erklärung, dafs mineralische Brennstoffe, welche zur Verhüttung der Erze geeignet wären, nur in beschränkten Mengen (Oviedo in Asturien und in Biscaya) gewonnen werden. Ungefähr 90 v. H. der gesamten geförderten Erze gelangen zur Ausfuhr, und zwar vornehmlich nach Grofsbritannien, aufserdem nach Deutschland, in geringerer Menge nach Belgien, Frankreich, Nordamerika.

Die wichtigste Provinz für die Erzgewinnung ist Biscaya. Hier, und zwar vornehmlich in den Bezirken Somorrostro und Matamoros, wird etwas mehr als die Hälfte aller spanischen Erze gefördert, um von dem Hafenplatz Bilbao aus versandt zu werden. In der Umgegend von Bilbao befinden sich auch die bedeutendsten Eisenwerke Spaniens (Biscaya-Hütte, Hütte der Sodiedad de Altos Hornos, San Francisco-Hütte), welche teils mit fremden, teils mit asturischen Koks etwa zwei Drittel des spanischen Roheisens erzeugen. Auch in Asturien ist ein mit dortigen Koks betriebenes Werk, La·Felguera, entstanden; verschiedene Holzkohlenöfen finden sich teils in der Umgegend von Bilbao, teils auch in anderen Bezirken. Die Menge des mit Holzkohlen gewonnenen Roheisens beträgt ungefähr 6. v. H. der Gesamterzeugung.

Kanada.

In verschiedene Erzlagerstätten (zu Londonderry, Springville, auf den Inseln Cape Breton und Belle Isle sowie an anderen Orten) finden sich Erze aller Gattungen, zum Teil von bedeutender Mächtigkeit[1]); das wichtigste Steinkohlenvorkommen findet sich auf Cape Breton bei Sidney. Im Jahre 1903 wurden in Kanada elf Hochöfen mit Koks, vier mit Holzkohlen betrieben; vier neue Hochöfen waren im Bau begriffen[2]).

Italien.

Ähnlich wie in Spanien liegen die Verhältnisse für die Eisenerzeugung in Italien: das Land besitzt zwar einige Lagerstätten vortrefflicher Eisenerze, aber mineralische Kohlen, welche zu ihrer Verhüttung tauglich wären, fehlen gänzlich. Die Gesamtmenge

[1]) Roteisenerze von der Insel Belle Isle werden auch auf deutschen Eisenwerken verhüttet.

[2]) Näheres über die kanadische Eisenindustrie: Iron Age vom 29. Oktober 1903, Seite 28; daraus in „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1360; ferner „Stahl und Eisen" 1904, Seite 322, 1150; 1905, Seite 59.

der geförderten Eisenerze ist immerhin bedeutend geringer als in Spanien.

Hochberühmt waren schon zu der Römer Zeit die Eisenerze von Elba, wo noch jetzt die überwiegend gröfste Menge aller italienischen Erze gewonnen wird (im Jahre 1899 wurden dort 224000 Tonnen gefördert); auch die Lombardei, Kalabrien, Sardinien, Piemont und Toskana besitzen Erzlagerstätten.

Eine Hochofenanlage für den Betrieb mit Koks wurde auf der Insel Elba im Jahre 1902 in Betrieb gesetzt[1]; Verhüttung von Eisenerzen (mit Holzkohlen) findet statt zu Castro in der Provinz Bergamo, zu Follonica und Portovecchio in der Provinz Grosseto[2]; auch in unbedeutendem Mafse an einigen anderen Orten.

Literatur.

a) Einteilung und Benennung des Eisens.

M. A. Greiner, Über die Definition des Stahls. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, Seite 175; Revue universelle des mines 1875, Seite 564.

R. Åkerman, Ansichten über den richtigen Begriff von Stahl. Berg- und hüttenmännische Ztg. 1876, Seite 337; auch Jern-Kontorets Annaler, Bd. 67, Heft 3.

H. Wedding, Die Nomenklatur des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1877, Seite 46.

Klassifikation von Eisen und Stahl. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1878, Seite 60; Zeitschrift des berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, Seite 252.

H. Wedding, Die heutigen Methoden der Eisenerzeugung und die Benennung der daraus hervorgehenden Eisengattungen. Glasers Annalen, Bd. 22, Seite 167, daraus „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 457.

b) Geschichtliches.

Dr. Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. Zweite Auflage. Braunschweig 1891—1901.

James M. Swank, History of the Manufacture of Iron in all Ages. Second Edition. Philadelphia 1892.

Rich. Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern. Leipzig 1884.

Dr. Ludwig Beck, Der Einflufs der römischen Herrschaft auf die deutsche Eisenindustrie. Festschrift des römisch-germanischen Zentralmuseums zu Mainz. Mainz 1902.

c) Die Eisenerzeugung in verschiedenen Ländern.

Gemeinfafsliche Darstellung des Eisenhüttenwesens. Herausgegeben vom Verein deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf. 5. Auflage, 1903.

H. Wedding, Statistik des Eisens. Sonderabdruck aus „Stahl und Eisen“. Düsseldorf 1891.

H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde. 2. Auflage. Braunschweig 1897. Bd. 2, Seite 1—236.

H. Wedding, Zwanzig Jahre des Fortschritts in der Eisenerzeugung auf der Erde. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 230.

Rich. P. Rothwell, The Mineral Industrie in the United States and other countries. New York and London (erscheint jährlich).

---

[1]) Näheres: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, Seite 1559 und 1625, auch „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 54.

[2]) Näheres: „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 67.

John Birkinbine, The Production of Iron Ores in various Parts of the World. Washington 1895.
O. Simmersbach, Die Steinkohlenvorräte der Erde. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1347.
F. Kintzlé, Die Eisenindustrie der Vereinigten Staaten von Nordamerika. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 947.
H. Wedding, Die Eisenerzlagerstätten von Mesaba in Minnesota. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 7.
E. Schroedter, Der Wettbewerb der amerikanischen Eisenindustrie. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 948.
Macco, Roheisenmaterialien und Frachtenverhältnisse in den Vereinigten Staaten. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 601.
Macco, Bericht über eine Studienreise in den Vereinigten Staaten. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 69, 144.
E. Schroedter, Die Deckung des Erzbedarfs der deutschen Hochöfen in Gegenwart und Zukunft. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 232 (auch als Sonderabdruck erschienen).
E. Schroedter, Fünfundzwanzig Jahre deutscher Eisenindustrie. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 490.
W. Brügmann, Die Fortschritte in der Eisenerzeugung Deutschlands seit 1880. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 976, 1038.
Wandesleben, Das Vorkommen der oolithischen Eisenerze (Minette) in Lothringen, Luxemburg und dem östlichen Frankreich. „Stahl und Eisen" 1890, Seite 677.
L. Hoffmann, Die oolithischen Eisenerze in Deutsch-Lothringen. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 945, 988.
Fr. Greven, Das Vorkommen des oolithischen Eisenerzes im südlichen Teile Deutsch-Lothringens. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 1.
W. Albrecht, Die Minetteablagerung Deutsch-Lothringens nordwestlich der Verschiebung Deutsch-Oth. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 305, 354.
Dr. Kohlmann, Die Minetteablagerung der lothringenschen Jura. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 493, 1273, 1340.
Dr. Kohlmann, Die Eisenindustrie des Minettebezirks. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 528.
Zur gegenwärtigen Lage der deutschen Eisenindustrie. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1029.
S. Jordan, Note sur les ressources de l'industrie du fer en France. Revue universelle 1878, Bd. 4, Seite 329.
G. Rolland, Sur les gisements de fer oolithique du nouveau bassin de Briey (Meurthe-et-Moselle). Comptes rendus Bd. 126, Seite 285; daraus in „Stahl und Eisen" 1898, Seite 218.
O. Simmersbach, Die Entwicklung der Roheisenindustrie Grofsbritanniens. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 264, 309.
Die heutige Lage der britischen Eisenindustrie. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1077.
H. Pinget, The development of the iron industry in France from 1888 to 1898. The Journal of the Iron and Steel Institute 1900 II, Seite 39.
E. Gruner, Atlas du comité central des houillères de France. Cartes des bassins houillers de France, de la Grande-Bretagne, de la Belgique et de l'Allemagne, accompagnées d'une description technique générale et de renseignements statistiques et commerciaux. Paris 1893.
Die Eisenindustrie Rufslands. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 713.
P. Trasenster, L'industrie charbonnière et siderurgique de la Russie meridionale. Revue universelle des mines, Reihe 3, Bd. 34 (1896), Seite 1, 172.
P. Bayard, Die Eisenindustrie in Südrufsland. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 699, 753.
Dr. Neumark, Die russische Roheisen- und Kohlenindustrie. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 62, 110.
E. Davidsohn, Die metallurgische und die Kohlenindustrie Rufslands. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preufsen, Bd. 49 (1901), Seite 114.

Alexander Gouvy, Die Grundlagen zur Roheisenerzeugung im südlichen Ural. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 680.

Th. Naske und Baron Taube, Die Eisen- und Kohlenindustrie Rufslands an der Wende des 19. Jahrhunderts. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1281.

E. Holz, Die Grundlagen der russischen Eisenindustrie. Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes 1903, Seite 255.

A. P. Head, The South Russian Iron Industry. Iron Age vom 5. Februar 1903, Seite 16.

Die Eisenerze Österreichs und ihre Verhüttung. Aus Anlaß der Pariser Weltausstellung verfaßt im k. k. Ackerbau-Ministerium. Wien 1878.

C. A. M. Balling, Die Eisenindustrie Böhmens. Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 17, Seite 211.

C. A. M. Balling, Die Eisenindustrie Mährens und Österreich-Schlesiens. Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 18, Seite 173.

P. Tunner, Die Lage der Eisenindustrie in Steiermark und Kärnten. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 463.

E. Heyrowsky, Die Entwicklung der österreichischen Eisenindustrie in den letzten 50 Jahren. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 672.

A. v. Kerpely, Das Eisenhüttenwesen in Ungarn zur Zeit des Milleniums. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 932, 975, 1026.

Les mines et usines de la Hongrie. Revue universelle des mines, Reihe 3, Bd. 40, Seite 192.

O. Simmersbach, Kohle und Eisen in Belgien. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 961.

Kohle und Eisen in Belgien. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 326.

R. Åkerman, Outlines of the development of the Swedish iron industry. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898 II, Seite 7.

G. Nordenström, Die Nachhaltigkeit der Eisenerzablagerungen Schwedens. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 357.

G. Nordenström, The most prominent and characteristic features of Swedish iron ore mining. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898 II, Seite 35; in deutscher Bearbeitung auch in „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 476.

Lürmann, Über Magneteisenstein-Einfuhr von Gellivara und Grängesberg nach Deutschland. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 517, 773.

W. Tiemann, Die grofsen Eisenerzablagerungen in Schweden und Norwegen. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 217.

H. Wedding, Die phosphorhaltigen Eisenerze Schwedens und ihre Bedeutung für die deutsche Eisenindustrie. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1898, Seite 37.

Die schwedisch-norwegische Unionsbahn Luleå-Ofoten und ihre Bedeutung für Erschliefsung der nordschwedischen Eisenerzfelder. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 61, 143, 221, 329, 381, 578, 873.

H. Bauermann, On the Gellivara iron ore mines. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 I, Seite 55.

Korb, Die Eisenerzgruben und die Eisen- und Stahlwerke Schwedens. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 584.

J. Steven Barrié, Die Entwicklung der Eisen- und Stahlindustrie im östlichen Kanada. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 387.

H. Wedding, Die Eisenerze an der Nordküste Spaniens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1896, Seite 293.

Don Pablo de Alzola, On the iron and steel industry of Spain. The Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, Seite 5 (auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 793).

W. Gill, On the present position of the iron ore industries of Biscay and Santander. The Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, Seite 36 (auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 792).

Stockfleth, Neue Eisenerzfunde auf der Insel Sardinien. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 534.

G. Leinung, Eisenerzvorkommen im Tayeh-Bezirk, Provinz Hupeh, China. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 221.

Shamsul Ulama Syed Ali Bilgrami, Iron industry in the territory of his Highness the Nizam of Hyderabad. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 II, Seite 65.
Reginald Henry Mahon, India as a centre for steel manufacture. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 II, Seite 83.
C. v. Schwarz, Über die Eisen- und Stahlindustrie Ostindiens. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 209, 277, 337, 391.
Baum, Die Eisenerzlagerstätten Nordwestafrikas. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 713.

II. Über Verbrennung, Reduktion, Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe.

1. Verbrennung und Reduktion.

a) Allgemeines.

Die hierunter erörterten Lehrsätze stützen sich auf Gesetze der allgemeinen Chemie, angewendet auf die Vorgänge im Eisenhüttenbetriebe. Ihre Beachtung ist Bedingung für das Verständnis und die richtige Deutung jener Vorgänge; manche auffällige Erscheinung im Betriebe findet ihre einfache Erklärung, wenn man die in Rede stehenden Lehrsätze ins Auge faſst.

Verbrennung im allgemeinen und in dem hier vorzugsweise in Betracht kommenden Sinne nennt man jede chemische Vereinigung eines Körpers mit Sauerstoff (Oxydation); im engeren Sinne bezeichnet man den Vorgang nur dann als Verbrennung, wenn eine solche Wärmeentwicklung damit verknüpft ist, daſs der brennende Körper ein Erglühen zeigt. Die Neigung der Körper, zu verbrennen, d. h. sich mit Sauerstoff chemisch zu vereinigen, wächst im allgemeinen mit der Temperatur; bei stetig zunehmender Temperatur aber tritt schlieſslich eine Grenze ein, bei deren Überschreiten jenes Vereinigungsbestreben nicht mehr zu-, sondern abnimmt und sogar ein Zerfallen der Sauerstoffverbindungen beginnt. Aus sauerstoffreicheren Verbindungen werden sauerstoffärmere unter Freiwerden eines Teiles des Sauerstoffgehalts; die sauerstoffärmeren zerfallen schlieſslich vollständig in ihre Bestandteile. Man nennt dieses Zerfallen der Verbindungen unter dem alleinigen Einflusse der Wärme Dissoziation. Die Temperaturen, bei welchen die Dissoziation beginnt, sind verschieden und von der Beschaffenheit der Verbindungen abhängig. Sehr viele der letzteren werden in den in unseren Öfen erreichbaren Temperaturen überhaupt nicht dissoziiert; für das Verhalten einiger bei der Eisendarstellung eine Rolle spielender Sauerstoffverbindungen (des Kohlendioxyds, Wasserdampfes u. a.) ist dagegen der Vorgang der Dissoziation von Bedeutung, was unten ausführlichere Erörterung finden wird.

Wird die Zerlegung einer Verbindung, insbesondere einer Sauerstoffverbindung, nicht allein durch den Einfluſs der Wärme veranlaſst, sondern ist dabei ein dritter Körper tätig, welcher jener Verbindung den Sauerstoffgehalt ganz oder teilweise entzieht, sich

selbst damit verbindend, so heißt der Vorgang Reduktion. Eisenoxyd Fe_2O_3 kann z. B. durch Einwirkung von Kohlenstoff in höherer Temperatur zu Eisenoxydul nach dem Vorgange $Fe_2O_3 + C = 2\,FeO + CO$ oder zu metallischem Eisen nach dem Vorgange $Fe_2O_3 + 3\,C = 2\,Fe + 3\,CO$ reduziert werden [1]).

Reduktion und Verbrennung (Oxydation) gehen deshalb stets nebeneinander her. Die Reduktion wird möglich, wenn das Vereinigungsbestreben (die chemische Verwandtschaft) des als Reduktionsmittel dienenden Körpers zum Sauerstoff unter den gegebenen Verhältnissen größer ist als das Vereinigungsbestreben des zu reduzierenden Körpers zum Sauerstoff.

Nur wenige Körper wirken bei gewöhnlicher Temperatur merklich oxydierend oder reduzierend aufeinander [2]). Bei allen hüttenmännischen Verfahren ist eine erhöhte Temperatur erforderlich, welche das Vereinigungsbestreben des Reduktionsmittels zum Sauerstoff steigert; aber diese Einwirkung der gesteigerten Temperatur kann nur dann eine Reduktion ermöglichen, wenn nicht auch das Vereinigungsbestreben des anderen Körpers, welcher reduziert werden soll, in dem gleichen Maße zunimmt. Mit anderen Worten: Reduktion durch Einwirkung zweier Körper im erhitzten Zustande aufeinander ist die Folge einer durch die Erhitzung veranlaßten erheblicheren Steigerung des Verbrennungsbestrebens des Reduktionsmittels; unter Umständen auch einer durch die Erhitzung hervorgerufenen Verringerung der Verwandtschaft des zu reduzierenden Körpers zum Sauerstoff, wenn die Temperatur der Dissoziationsgrenze sich nähert.

Diese Tatsache, so leicht verständlich sie auch ist, wird vielfach bei metallurgischen Vorgängen unbeachtet gelassen, und man erschwert sich dadurch deren Verständnis. Jener Einfluß der Temperatur auf das Verbrennungsbestreben liefert die Erklärung dafür, daß nicht allein die Reduktionstemperaturen verschiedener Körper ungleich hoch liegen, sondern auch, daß Körper, welche für die Reduktion einzelner Sauerstoffverbindungen benutzbar sind, doch auf andere Sauerstoffverbindungen nicht einzuwirken vermögen, weil es eben nicht gelingt, ihr Verbrennungsbestreben durch Erhitzung auf einen höheren Grad zu steigern als dasjenige des zu reduzierenden Körpers. Hiervon muß die Wahl des Reduktionsmittels sowie die Höhe der anzuwendenden Temperatur abhängig sein.

Wird bei der Entstehung einer Sauerstoffverbindung Wärme erzeugt, so ist zur Zerlegung dieser Verbindung die gleiche Wärmemenge erforderlich, welche bei der Entstehung gewonnen wurde [3]). Die Kenntnis dieser Wärmemengen ist von Wichtigkeit für die

---

[1]) Allgemein läßt sich der Ausdruck Reduktion auf die Zerlegung jeder chemischen Verbindung durch Einwirkung eines dritten Körpers anwenden; bei der Eisendarstellung hat jedoch nur die Reduktion der Sauerstoffverbindungen Bedeutung.

[2]) Es ist immerhin wahrscheinlich, daß bei sehr lange währender inniger Berührung eine Einwirkung sich vollzieht; aber ihre Geschwindigkeit ist sehr gering. Vergleiche Dammer, Anorganische Chemie, Bd. I, Seite 322.

[3]) Gesetz von Lavoisier und Laplace, im Jahre 1780 durch Versuche erwiesen.

Beurteilung verschiedener Vorgänge im Eisenhüttenbetriebe. Ist nun bei einem Reduktionsvorgange die Verbrennungswärme des als Reduktionsmittel dienenden Körpers gröfser als diejenige des reduzierten, so wird hierbei Wärme gewonnen, und die Temperatur steigt; im entgegengesetzten Falle wird Wärme verbraucht und mufs aus einer besonderen Wärmequelle gedeckt werden, wenn Abkühlung vermieden werden soll, welche ein Aufhören des Reduktionsvorganges zur Folge haben kann.

b) Die wichtigsten Reduktionsmittel.

Bei den Verfahren der Eisendarstellung kommen als Reduktionsmittel vorwiegend Kohlenstoff und Kohlenoxyd, das sauerstoffärmste, einer weiteren Verbrennung fähige Verbrennungserzeugnis des Kohlenstoffs, zur Geltung. Eine untergeordnete Bedeutung als Reduktionsmittel besitzt Wasserstoff, welcher als Nebenerzeugnis mitunter entsteht und dann reduzierend auf verschiedene Sauerstoffverbindungen einzuwirken vermag; in einzelnen, bei der späteren Besprechung der Verfahren zu erläuternden Fällen können metallisches Eisen, Mangan, Silizium, Phosphor, Aluminium als Reduktionsmittel für andere Körper dienen.

Das Verhalten der drei zuerst genannten Körper — Kohlenstoff, Kohlenoxyd und Wasserstoff — bei ihrer Verwendung als Reduktionsmittel zeigt jedoch Unterschiede, welche Beachtung verdienen.

Die niedrigste Temperatur, bei welcher Kohlenstoff und Sauerstoff sich rasch zu vereinigen vermögen, liegt, abweichend nach der äufseren Beschaffenheit des Kohlenstoffs (Holzkohle, Koks, Anthrazit, Graphit) bei 400 bis 800 ° C.[1]); unterhalb dieser Temperatur vermag also der Kohlenstoff nicht als Reduktionsmittel zu wirken. Das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs wächst aber mit der Temperatur unausgesetzt bis zu den höchsten Temperaturgraden, welche wir in unseren Öfen zu erzeugen fähig sind. Das kohlenstoffreichste Verbrennungserzeugnis des Kohlenstoffs ist Kohlenoxyd, ein Gas, welches auch in den höchsten in unseren Öfen erreichbaren Temperaturen beständig ist, d. h. unter gewöhnlichen Verhältnissen weder in merkbarem Grade dissoziiert wird noch oxydierend auf andere, im Eisenhüttenbetriebe eine Rolle spielende Körper zu wirken vermag[2]). Jene

[1]) Durch freien Sauerstoff kann Kohlenstoff zwar schon bei gewöhnlicher Temperatur zu Kohlendioxyd verbrannt werden, jedoch so langsam, dafs der Vorgang keine Bedeutung für die Verwendung der Kohle besitzt. Vergleiche Poggendorffs Annalen, Bd. 109, Seite 353.

[2]) Aluminium wird allerdings nach Versuchen von Stead durch Kohlenoxyd verbrannt: $2\,Al + 3\,CO = Al_2O_3 + 3\,C$ (The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, Seite 190). Besondere Verhältnisse, z. B. Reibung an rauhen Flächen oder einfache Berührung mit gewissen Körpern in weniger hoher Temperatur, Rotglut oder darunter, können ein Zerfallen des Kohlenoxyds in Kohle und Kohlendioxyd ($2\,CO = C + CO_2$) ermöglichen (Comptes rendus, Bd. 60, Seite 321). Ein Fall der letzteren Art (Zerfallen bei Berührung mit Eisenoxyden) findet im 7. Abschnitte dieser Abteilung (Chemisch-metallurgisches Verhalten des Eisens) besondere Besprechung. Eine Dissoziation im eigentlichen Sinne, d. h. ein Zerfallen des

Steigerung des Verbrennungbestrebens des Kohlenstoffs mit zunehmender Temperatur müfste eben ihr Ende erreichen, wenn das Erzeugnis der Vereinigung Neigung zur Dissoziation besäfse. Körper, deren Bestreben, sich mit Sauerstoff chemisch zu vereinigen, durch Erhitzen nicht in dem gleichen Mafse wie diejenige des Kohlenstoffs gesteigert wird, lassen sich also häufig aus ihren Oxyden durch stärkere Erhitzung mit Kohlenstoff reduzieren, auch wenn die Oxyde in weniger hohen Temperaturen — beispielsweise in Rotglut — widerstandsfähig gegenüber der Einwirkung des Kohlenstoffs sein sollten. In dieser Weise verhalten sich z. B. Kalium, Natrium, Mangan u. a.; gerade jener Umstand, dafs durch Erhitzung auf hohe Temperaturen das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs in stärkerem Mafse als dasjenige vieler anderer Körper sich steigern läfst, macht den Kohlenstoff zu einem der vorzüglichsten Reduktionsmittel in hohen Temperaturen.

Kohlenoxyd dagegen vermag schon bei etwa 200° C. mit einem zweiten Atom Sauerstoff sich zu Kohlendioxyd (Kohlensäure) zu vereinigen [1]), und sein Verbrennungsbestreben wächst anfänglich ebenfalls mit der Temperatur, bis diese ungefähr 1000° C. erreicht. In Temperaturen zwischen 1000 und 1200° C. aber beginnt nach Versuchen von H. Saint-Claire Deville die Dissoziation des Kohlendioxyds, d. h. ein Zerfallen in Kohlenoxyd und freien Sauerstoff. Anfänglich tritt die Dissoziation nur in sehr geringem Mafse auf; sie nimmt zu, d. h. immer reichlichere Mengen Kohlendioxyds werden dissoziiert, und immer mehr freier Sauerstoff ist neben unverbranntem Kohlenoxyd zugegen, ohne sich mit diesem zu vereinigen, je höher die Temperatur steigt; bei 2000° C. sind unter gewöhnlichem Atmosphärendrucke 4 v. H., bei 3000° C. 40 v. H. des ursprünglichen Kohlendioxyds gespalten. Je niedriger der Druck, unter dem das Gas steht, desto reichlicher die stattfindende Dissoziation [2]). Hieraus folgt, dafs die Verbrennung des Kohlenoxyds immer schwieriger wird, je höher die Temperatur über 1000° C. steigt; in naher Beziehung hierzu steht die Tatsache, dafs Kohlendioxyd in höheren Temperaturen kräftig oxydierend auf viele Körper einwirkt, welche in weniger hohen Temperaturen durch Kohlenoxyd reduziert werden können. Eben deshalb aber verliert das Kohlenoxyd um so mehr an reduzierender Kraft, je höher die Temperatur über die bezeichnete Grenze hinaus steigt. Damit überhaupt Reduktion durch Kohlenoxyd möglich sei, mufs stets ein Überschufs des Kohlenoxyds zugegen sein, um durch Verdünnung des sich bildenden Kohlendioxyds dessen oxydierende Kraft aufzuheben, und dieser Überschufs mufs um so gröfser sein, je höher die Temperatur ist,

---

Kohlenoxyds in Kohlenstoff und Sauerstoff ($CO = C + O$) lediglich infolge starker Erhitzung, findet dagegen in den in unseren Öfen erreichbaren Temperaturen nicht statt.

[1]) Nach Versuchen von L. Bell kann Kohlenoxyd schon bei 200° C. Eisenoxyden einen geringen Teil ihres Sauerstoffgehaltes entziehen (L. Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, Seite 71).

[2]) Comptes rendus, Bd. 56, Seite 729, Bd. 60, Seite 323; auch Nernst, Theoretische Chemie, 4. Aufl., Seite 442.

in welcher der Vorgang vonstatten geht. Ein und dasselbe Gemisch von Kohlendioxyd und Kohlenoxyd kann in niedrigeren Temperaturen reduzierend, in höheren Temperaturen oxydierend auf den nämlichen Körper einwirken. Nach Versuchen von L. Bell[1]) verhält sich z. B. ein Gemisch beider Gase sowohl gegen metallisches Eisen als gegen Eisenoxyde untätig, d. h. es wirkt weder reduzierend noch oxydierend, wenn es neben 100 Raumteilen Kohlenoxyd

in Weifsglut	11	Raumteile Kohlendioxyd
„ heller Rotglut	47	„ „
„ dunkler „	150	„ „

enthält. Die Ausdrücke Weifsglut, helle und dunkle Rotglut sind zwar ziemlich unbestimmt, aber der Einflufs der Temperatur im allgemeinen läfst sich immerhin deutlich genug aus den Versuchsergebnissen erkennen[2]). Reines Kohlenoxyd verwandelte sich beim langsamen Hinüberleiten über Eisenschwamm schon beim 417° beinahe vollständig in Kohlenoxyd.

Durch den gasförmigen Zustand des Kohlenoxyds wird seine Berührung mit festen Körpern erleichtert; es umhüllt sie, dringt in ihre Poren ein. Zwischen einem festen Körper und Kohle dagegen ist die gegenseitige Berührung um so unvollkommener, je grobstückiger beide sind; sie wird vergröfsert, wenn Schmelzung des ersteren eintritt, oder wenn der Kohlenstoff durch Lösung in einem geschmolzenen Körper, z. B. in flüssigem Eisen, selbst flüssig geworden ist.

Diese Unterschiede in dem Verhalten der Kohle und des Kohlenoxyds liefern die Erklärung dafür, dafs für Reduktionsvorgänge, welche in Temperaturen unter 1000° C. ausführbar sind, Kohlenoxyd das geeignetere Reduktionsmittel ist, während die Bedeutung des Kohlenstoffs als Reduktionsmittel mit der Temperatur zunimmt, und dafs in den höchsten Temperaturen unserer Öfen nur Kohlenstoff als Reduktionsmittel dienen kann. Metalle, deren Oxyde durch Kohlenoxyde reduzierbar sind, nennt man leicht reduzierbar; solche, die nur noch durch Kohle in Weifsglut reduziert werden können, schwer reduzierbar.

Ähnlich wie Kohlenoxyd verhält sich Wasserstoff als Reduktionsmittel. Bei seiner Verbrennung entsteht Wasserdampf; aber dessen Dissoziation beginnt, wie die des Kohlendioxyds, bei 1000° C. und nimmt mit der Temperatur stetig zu. Er wirkt daher schon in verhältnismäfsig niedriger Temperatur oxydierend, wenn er mit Körpern zusammentrifft, deren Verbrennungsbestreben durch Erwärmung gesteigert wird, und bei der Benutzung des Wasserstoffs als Reduktionsmittel mufs, wie beim Kohlenoxyd, ein um so gröfserer Überschufs zugegen sein, je höher die Temperatur steigt[3]).

---

[1]) In Bells genanntem Werke, Seite 185 und 186, mitgeteilt.

[2]) Für Weifsglut wird man etwa 1200° C., für helle Rotglut 900—1000° C., für dunkle Rotglut 700—800° C. annehmen können.

[3]) Versuche von L. Bell über das Verhalten des Wasserstoffs als Reduktionsmittel in dessen genanntem Werke, Seite 305 ff.

c) Einflufs der Anwesenheit dritter Körper auf den Verlauf der Reduktion.

Durch Gegenwart dritter Körper, welche das Bestreben besitzen, mit den Erzeugnissen des Reduktions- oder Oxydationsvorganges Verbindungen einzugehen, werden diese Vorgänge oft in merkbarer Weise befördert, mitunter sogar erst ermöglicht.

So z. B. ist Silizium aus der Kieselsäure durch Kohle allein auch in hellster Weifsglut nicht reduzierbar; seine starke Verwandtschaft zum Eisen aber erklärt es, dafs bei Gegenwart von metallischem Eisen Silizium schon in mäfsiger Weifsglut durch Kohle reduziert und von dem Eisen aufgenommen werden kann. Wie auf Seite 3 erwähnt wurde, enthalten verschiedene Eisensorten ziemlich ansehnliche Mengen von Silizium, welche nur auf Grund jenes Gesetzes reduziert und vom Eisen aufgenommen werden konnten.

Ein Beispiel für die Beeinflussung der Oxydationsvorgänge durch die Anwesenheit dritter Körper liefert das Verhalten des Phosphors im Eisen. Aus geschmolzenem Eisen wird auch unter kräftig oxydierenden Einwirkungen Phosphor nicht abgeschieden, solange eine kieselsäurereiche Schlacke zugegen ist, welche keine Neigung besitzt, Phosphorsäure aufzunehmen; aber die Abscheidung gelingt bei Anwesenheit basischer Körper, welche mit der entstehenden Phosphorsäure Phosphate zu bilden geneigt sind.

Viele andere Erscheinungen des Betriebes lassen sich auf diesen Einflufs der Anwesenheit dritter Körper zurückführen, und bei der Besprechung der einzelnen Verfahren wird noch häufig auf das hier angeführte Naturgesetz Bezug genommen werden.

2. Vollständige und unvollständige Verbrennung.

a) Erklärungen.

In zahlreichen Fällen können bei der Verbrennung eines und desselben Körpers unter abweichenden Verhältnissen auch Verbrennungserzeugnisse von abweichender Zusammensetzung, insbesondere sauerstoffärmere oder sauerstoffreichere, entstehen. Man nennt die Verbrennung vollständig, wenn die Verbrennungserzeugnisse (welche bei Verbrennung gewöhnlicher Brennstoffe gasförmig sind) keine brennbaren Bestandteile mehr enthalten. Verbrennt man Kohle, so enthalten die Verbrennungserzeugnisse bei vollständiger Verbrennung neben dem etwa vorhandenen, überschüssig zugeleiteten Sauerstoff nur noch Stickstoff (aus der Verbrennungsluft stammend) und Kohlendioxyd; verbrennt man flammende Brennstoffe, so tritt noch Wasserdampf als Verbrennungserzeugnis zu den genannten. Unvollkommen ist die Verbrennung, wenn sich Kohlenoxyd, Kohlenwasserstoffe, Teer, Rauch[1]) in den Verbrennungsgasen befinden.

---

[1]) Rauch besteht teils aus Teerdämpfen, teils aus Kohlenstoffteilchen, welche aus der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen hervorgegangen sind, mit dem Gasstrome davongeführt werden und als Rufs sich ablagern.

Sofern es sich bei der Verbrennung eines Brennstoffes nur darum handelt, eine möglichst grofse Wärmemenge zu erzeugen, mufs man danach trachten, vollständige Verbrennung zu erzielen, denn jeder unverbrannt gebliebene Bestandteil der Verbrennungsgase ist gleichbedeutend mit einer Minderentwicklung von Wärme. Nicht immer jedoch gestatten die chemischen Eigentümlichkeiten eines durchzuführenden Verfahrens, vollständige Verbrennung zur Anwendung zu bringen. Wollte man z. B. beim reduzierenden Schmelzen von Eisenerzen den Kohlenstoff vollständig, d. h. zu Kohlendioxyd, verbrennen, so würde wegen der schon erwähnten oxydierenden Eigenschaft dieses Gases Reduktion überhaupt unmöglich sein.

Die zur Erzielung einer vollständigen — oder unter Umständen unvollständigen — Verbrennung anzuwendenden Mittel müssen von dem chemischen Verhalten der zu verbrennenden Körper gegenüber dem Sauerstoff in der Verbrennungstemperatur abhängig sein. Die hier vornehmlich in Betracht kommenden Stoffe sind Kohle, Kohlenoxyd, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe.

b) Kohlenstoff und Kohlenoxyd. Reduktion des Kohlendioxyds durch Kohle.

Bei der Verbrennung von Kohlenstoff kann sowohl Kohlenoxyd als Kohlendioxyd entstehen. Häufig findet man in den Verbrennungserzeugnissen beide Körper nebeneinander; ihr gegenseitiges Gewichtsverhältnis hängt von verschiedenen Umständen ab,

Zunächst ist zu berücksichtigen, dafs die gleiche Menge Sauerstoff zur Kohlenoxydbildung die doppelte Menge Kohle erheischt als zur Kohlendioxydbildung; zwei Atome Sauerstoff verbrennen bei Kohlendioxydbildung nur ein Atom Kohlenstoff ($2O + C = CO_2$), bei Kohlenoxydbildung deren zwei ($2O + 2C = 2CO$). Daher befördert ein reichliches Verhältnis des für die Verbrennung des Kohlenstoffs bestimmten Sauerstoffs zum Kohlenstoff die Entstehung von Kohlendioxyd, ein reichliches Verhältnis des Kohlenstoffs zum Sauerstoff die Entstehung von Kohlenoxyd. Da aber für die Entstehung einer chemischen Verbindung eine Berührung der zu vereinigenden Körper erforderlich ist, läfst sich das Gesetz auch folgendermafsen ausdrücken:

Ein reichliches Verhältnis der vom Sauerstoff berührten Kohlenstoffteilchen zum Sauertoff befördert die Entstehung von Kohlenoxyd, ein reichliches Verhältnis der den Kohlenstoff berührenden Sauerstoffteilchen die Entstehung von Kohlendioxyd.

Dieses Gesetz findet in zahlreichen Fällen Bestätigung.

Wenn man z. B. von einem durch ein Gebläse erzeugten Luftstrome feingepulverte Kohle mitführen und dieses Gemisch in einen zuvor so stark erhitzten Raum eintreten läfst, dafs Entzündung der Kohle erfolgen mufs (Kohlenstaubfeuerung), so ist vollständige Verbrennung der Kohle zu erzielen, falls Sauerstoff in einigem Überschufs zugegen ist. Die chemische Vereinigung an und für sich wird hier durch die innige Berührung beider chemisch tätigen

Körper, die Bildung von Kohlendioxyd durch den anwesenden Sauerstoffüberschufs befördert.

Häufiger ist der Fall, dafs die Verbrennungsluft eine längere Schicht des in Ruhe befindlichen oder der Luft langsam entgegenrückenden, stückförmigen, im wesentlichen aus Kohle bestehenden Brennstoffs zu durchdringen hat (z. B. in Schachtöfen). Je länger hier die von der Luft zu durchdringende Schicht ist (je höher also in dem genannten besonderen Falle der Schachtofen), desto gröfser ist das Verhältnis der vom Sauerstoff berührten Kohlenstoffteilchen, desto reichlicher wird Kohlenoxyd gebildet [1]).

Bei gegebenem Gewichtsverhältnisse zwischen festem Kohlenstoff und Sauerstoff hängt aber die Menge der vom Sauerstoff berührten Kohlenstoffteilchen von der durch den Kohlenstoff dargebotenen Oberfläche ab. Je gröfser diese Oberfläche ist, desto mehr Kohlenstoffteilchen werden berührt, desto reichlicher wird Kohlenoxyd gebildet, je geringer die Oberfläche, desto gröfser ist die Menge des entstehenden Kohlendioxyds. Die Brennstoffe, welche fast nur Kohlenstoff als brennbaren Bestandteil enthalten, sind vornehmlich Koks und Holzkohle. Koks bietet weniger Oberfläche dar als Holzkohlen, dichte Koks weniger als porige. Grofsstückige Brennstoffe besitzen geringere Oberfläche als kleinstückige. [2])

D i c h t e K o k s s i n d d a h e r z u r E r z i e l u n g e i n e r V e r b r e n n u n g z u K o h l e n d i o x y d e i n g e e i g n e t e r e r B r e n n s t o f f a l s p o r i g e , u n d d i e s e l i e f e r n u n t e r g l e i c h e n V e r h ä l t n i s s e n i m m e r h i n n o c h g r ö f s e r e M e n g e n K o h l e n d i o x y d a l s d i e n o c h w e n i g e r d i c h t e n H o l z k o h l e n ; g r o f s s t ü c k i g e B r e n n s t o f f e s i n d z u r E r z i e l u n g d e r v o l l s t ä n d i g e n V e r b r e n n u n g b e s s e r b e n u t z b a r a l s k l e i n s t ü c k i g e.

Umgekehrt sind Holzkohlen den Koks, kleinstückige Brennstoffe den grofsstückigen vorzuziehen, wenn die Aufgabe vorliegt, eine Verbrennung zu Kohlenoxyd zu bewirken und die Entstehung von Kohlendioxyd nach Möglichkeit zu vermeiden (z. B. in Gaserzeugern). Von diesen Tatsachen macht man bei zahlreichen Verbrennungsvorgängen Nutzanwendung.

Jener Einflufs der gegenseitigen Berührung des Brennstoffs und der Verbrennungsluft gelangt auch zur Geltung, wenn die Luft eine Schicht stückförmiger Brennstoffe zu durchdringen hat:

H o h e G a s s p a n n u n g i m V e r b r e n n u n g s r a u m e u n d s t a r k e P r e s s u n g d e r e i n t r e t e n d e n V e r b r e n n u n g s l u f t b e f ö r d e r n K o h l e n o x y d b i l d u n g , g e r i n g e G a s - u n d L u f t s p a n n u n g K o h l e n o x y d b i l d u n g ; r e i c h l i c h e V e r t e i l u n g

[1]) Versuche hierüber: H. Bunte, Kommissionsarbeiten, betreffend die Versuche über die Leistungsfähigkeit der Koksgeneratoren, Schlufsbericht, Seite 142 (Sonderabdruck aus dem Journal für Gasbeleuchtung 1878 und 1879).

[2]) Von dem Umstande, dafs das Verhältnis der Oberfläche eines festen Körpers zu seinem räumlichen Inhalte um so gröfser ist, je geringer die Stückgröfse, und dafs aus diesem Grunde kleinstückige Körper chemischen Einwirkungen zugänglicher sind als grofsstückige, macht man häufig Anwendung. Beim Lösen fester Körper in Wasser oder anderen Lösungsmitteln zerkleinert man den festen Körper um so mehr, je schwerer löslich er ist, und je rascher die Lösung vonstatten gehen soll.

der eintretenden Luft auf grofse Querschnitte begünstigt Kohlendioxydbildung, Einführung der Luft durch enge Querschnitte, also mit höherer Spannung, Kohlenoxydbildung.

Denn je gröfser die Gasspannung ist, desto geringer ist die von dem Sauerstoff dem Kohlenstoff dargebotene Oberfläche, desto gröfser das Verhältnis der Kohlenstoffoberfläche zur Sauerstoffoberfläche, desto inniger ist die Berührung beider Körper, desto mehr Kohlenstoff wird durch die gleiche Sauerstoffmenge verbrannt, desto mehr Kohlenoxyd und desto weniger Kohlendioxyd wird gebildet. Umgekehrt wird durch reichliche Verteilung der Luft deren Oberfläche vergröfsert und die Kohlendioxydbildung befördert. In Schachtöfen, welche mit festen Brennstoffen geheizt werden und durch ein Gebläse ihren Wind erhalten, fällt daher das Verhältnis des bei der Verbrennung entstehenden Kohlenoxyds zum Kohlendioxyd im allgemeinen um so gröfser aus, je stärker der Druck des eingeführten Windes ist. Auch die gröfsere Geschwindigkeit des unter stärkerem Drucke eintretenden Windes an und für sich trägt zur reichlicheren Bildung von Kohlenoxyd bei: die Sauerstoffteilchen prallen mit gröfserer mechanischer Kraft gegen die Brennstoffstücke, dringen vollständiger zwischen die einzelnen Stücke und in deren Poren ein und finden solcherart Gelegenheit zur Berührung mit einer gröfseren Menge Kohlenstoffteilchen als bei schwacher Windpressung. Die gleiche Menge Sauerstoff verbrennt mehr Kohlenstoff als im anderen Falle, und die Folge ist reichlichere Bildung von Kohlenoxydgas.

Neben diesen, auf dem gegenseitigen Massenverhältnisse der miteinander in Berührung tretenden Kohlenstoff- und Sauerstoffteilchen beruhenden Umständen beeinflufst in starkem Mafse die in dem Verbrennungsraume herrschende Temperatur den Verlauf der Verbrennung. Die oben besprochenen, für die Reduktion der Sauerstoffverbindungen durch Kohlenstoff und durch Kohlenoxyd mafsgebenden Naturgesetze finden auch bei der Verbrennung von Kohle durch freien Sauerstoff ihre Geltung. Hohe Temperatur begünstigt allgemein die chemische Tätigkeit der hier in Betracht kommenden Körper, also die Verbrennung zweier Atome Kohlenstoff durch zwei Atome Sauerstoff (Seite 45), d. i. die Bildung von Kohlenoxyd. In weniger hoher Temperatur wird nur ein Atom Kohlenstoff durch zwei Atome Sauerstoff verbrannt und Kohlendioxyd gebildet. Während aber Kohlenoxyd in den höchsten in unseren Feuerungen erreichbaren Temperaturen beständig ist, zerfällt Kohlendioxyd in höheren Temperaturen in Kohlenoxyd und freien Sauerstoff.

Deshalb befördert hohe Temperatur im Verbrennungsraume stets dann die Verbrennung zu Kohlenoxyd, wenn die ausreichende Menge Kohlenstoff zur Bildung dieser Verbindung vorhanden ist, z. B. in Schachtöfen beim Hindurchstreichen der Luft durch eine hohe Schicht Brennstoff, während unter übrigens gleichen Verhältnissen um so mehr Kohlendioxyd gebildet wird, je niedriger die Temperatur ist.

Bei Betrachtung eines Holzkohlen- oder Koksfeuers auf einem

Roste läfst der Augenschein diese Tatsache erkennen. Solange die Temperatur niedrig ist, verbrennt der Brennstoff flammenlos, er wird schon auf dem Roste durch die eintretende Luft zu Kohlensäure verbrannt; steigt die Temperatur, so wird auf dem Roste mehr Kohlenstoff als zuvor durch die gleiche Menge zutretenden Sauerstoffs verbrannt; es entsteht eine blaue Flamme, aus dem innerhalb der Kohlenschicht gebildeten und erst in Berührung mit der äufseren Luft verbrennenden Kohlenoxyd bestehend.

Einen noch zuverlässigeren Beweis von dem Einflusse der Temperatur liefern Versuche im kleinen. Als ich bei verschiedenen Temperaturen trockene Luft mit annähernd gleicher Geschwindigkeit durch ein mit Holzkohlenstücken gefülltes Porzellanrohr leitete, erhielt ich folgende Zusammensetzung der austretenden Gase (ohne den Stickstoff)[1]):

	O	CO_2	CO	Verhältnis
	Gewichtsteile			$CO : CO_2$
Unter Zinkschmelzhitze (350° C.)	17,1	6,1	1,0	0,16
Bei „ (440° C.)	4,1	19,8	4,7	0,24
„ ganz dunkler Rotglut etwa 500° C.)	2,7	22,8	5,6	0,24
„ beginnender Kirschrotglut (etwa 600° C.)	—	—	—	0,88
„ Gelbglut (900—1000° C.)	0,0	0,6	33,6	56,0

Bei Benutzung von Koks zu dem gleichen Versuche fand Ernst nachstehende Zusammensetzung der Gase[2]):

	O	CO_2	CO	Verhältnis
	Raumteile			$CO : CO_2$
Unter Zinkschmelzhitze (394° C.)	20,1	1,1	0,0	0,00
Bei „ (495° C.)	0,0	19,0	1,6	0,08
„ dunkler Rotglut (800° C.)	0,0	17,9	5,9	0,33
„ beginnender Kirschrotglut (900° C.)	0,0	10,1	15,8	1,56
„ Gelbglut (995° C.)	0,0	0,0	34,4	∞

In beiden Fällen wird das Verhältnis des entstehenden Kohlenoxyds zum Kohlendioxyd immer beträchtlicher, je höher die Temperatur steigt, und wenn diese nahe an 1000° C. kommt, hört die Kohlendioxydbildung überhaupt auf. Dieser Satz von dem Einflusse der Temperatur auf Kohlenoxyd- und Kohlendioxydbildung ist von Wichtigkeit für das Verständnis zahlreicher Vorgänge.

Tritt dagegen mehr Sauerstoff mit dem anwesenden Kohlenstoff in Berührung, als zur Kohlenoxydbildung erforderlich ist, mit anderen Worten: fehlt es an Kohlenstoff zur Kohlenoxydbildung, so entsteht in jedem Falle Kohlendioxyd, solange die herrschende

[1]) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 359.

[2]) Journal für praktische Chemie, Bd. 156 (1883), Seite 31. Aus einer gröfseren Zahl von Versuchen sind hier solche herausgegriffen, bei welchen die Menge der von der Luft durchstrichenen Koks gleich war. Zu den Temperaturmessungen bei Ernsts Versuchen diente ein Pyrometer von Le Chatelier, während bei den meinigen die Temperaturen nur geschätzt werden konnten.

Temperatur dessen Dissoziationsgrenze nicht überschreitet. Steigt die Temperatur über diese hinaus, so findet sich in dem entstehenden Gasgemenge ein um so reichlicherer Teil unverzehrten Sauerstoffs neben unverbranntem Kohlenoxyd, je heifser der Verbrennungsraum ist; aber jede eintretende Abkühlung des Gasgemenges hat eine ihrem Mafse entsprechende Vereinigung eines Teiles des vorhandenen Sauerstoffs mit Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd zur Folge, so dafs bei Gegenwart einer ausreichenden Sauerstoffmenge das Endergebnis in einer vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlendioxyd besteht.

Da jeder chemische Vorgang einer gewissen Zeit bedarf, befördert längere gegenseitige Berührung zwischen Sauerstoff und Kohlenstoff die Bildung von Kohlenoxyd, kürzere gegenseitige Berührung die Bildung von Kohlendioxyd, wobei nur die Hälfte Kohlenstoff als in jenem Falle verbrannt wird.

Steigt also ein sauerstoffhaltiger Gasstrom in einem Schachtofen zwischen den Brennstücken empor, so ist langsame Bewegung des Gasstroms günstig für Kohlenoxydbildung, rasche für Kohlendioxydbildung.

Das Verhalten des Kohlenoxyds, sofern es als selbständiger Körper in verschiedenen Temperaturen mit Sauerstoff in Berührung tritt, ergibt sich aus den hier erörterten Gesetzen von selbst. Beachtung aber verdient ein Vorgang, welcher ebenfalls auf diesen Gesetzen beruht, und welchem man Reduktion des Kohlendioxyds durch Kohle nennt. Mit gleichem Rechte könnte man ihn als Verbrennung von Kohlenstoff durch Kohlendioxyd zu Kohlenoxyd bezeichnen. Der Umstand, dafs Kohlendioxyd eine um so stärkere Neigung zeigt, in Kohlenoxyd und Sauerstoff zu zerfallen, je höher die Temperatur über 1200° steigt, während die Neigung des Sauerstoffs, Kohle zu Kohlenoxyd zu verbrennen, ebenfalls mit der Temperatur zunimmt, läfst von vornherein darauf schliefsen, dafs jenes Zerfallen des Kohlendioxyds befördert werden müsse, wenn das frei werdende Atom Sauerstoff Gelegenheit findet, ein zweites Atom Kohlenstoff zu verbrennen:

$$CO_2 + C = 2CO.$$

Dafs Kohlendioxyd in hoher Temperatur als kräftiges Oxydationsmittel auch für andere Körper als Kohle, z. B. für metallisches Eisen, zu dienen vermöge, wurde schon oben erwähnt.

Jene Verbrennung von Kohle durch Kohlendioxyd beginnt in der Tat schon in Temperaturen, welche unterhalb der Dissoziationsgrenze liegen. Naumann und Pistor fanden z. B. beim Hinüberleiten reinen, trocknen Kohlendioxyds über ausgeglühte Holzkohlen, dafs die Einwirkung des Kohlendioxyds schon bei 550° C. beginnt; das bei ihren Versuchen austretende Gas enthielt in 100 Raumteilen [1]):

---

[1]) Berichte der deutschen chemischen Gesellchaft, Bd. 18 (1885), Seite 1647.

bei etwa 550° C. . .	12,6	Raumteile Kohlenoxyd
„ „ 900° C. . .	58,8	„ „
„ „ 1000° C. . .	92,2	„ „

Im übrigen wird der Verlauf dieses Vorganges durch die nämlichen Umstände bedingt, welche für die Verbrennung von Kohle in freiem Sauerstoff maſsgebend sind. Längere Zeitdauer der gegenseitigen Einwirkung, geringe Dichtigkeit und geringe Stückgröſse der vom Kohlendioxyd berührten festen Brennstoffe, hohe Temperatur an der Berührungsstelle sind förderlich für die Reduktion des Kohlendioxyds durch Kohlenstoff. Über den Einfluſs der Dichtigkeit des mit dem Kohlendioxyd in Berührung tretenden Brennstoffs wurden Versuche durch Bell angestellt[1]), indem er Kohlendioxyd unter sonst gleichen Verhältnissen über glühende Kohlen von verschiedener Beschaffenheit leitete und dann die Zusammensetzung des erfolgenden Gasgemenges ermittelte. Er erhielt:

	CO_2	CO
bei dichten Koks	94,56 Raumteile,	5,44 Raumteile,
„ porigen „	69,81 „	30,19 „
„ Holzkohlen	35,20 „	64,80 „

Versuche über den Einfluſs der mehr oder minder lange ausgedehnten Berührung (der Länge der Brennstoffschicht, mit welcher das Kohlendioxyd in Berührung tritt) wurden von Naumann und Pistor ausgeführt und in der schon genannten Abhandlung mitgeteilt.

Diese Reduktion des Kohlendioxyds durch Kohlenstoff spielt eine wichtige Rolle bei zahlreichen Vorgängen. Bei der Verbrennung von Kohle durch freien Sauerstoff vollzieht sich der Vorgang mitunter in der Weise, daſs bei der ersten Berührung der beiden Körper zunächst Kohlendioxyd entsteht, sofern die Bedingungen dafür günstig sind (dichter, groſsstückiger Brennstoff, reichliche Verteilung und schwache Pressung der Luft), welches dann erst ein zweites Atom Kohlenstoff verbrennt und sich in Kohlenoxyd umwandelt, wenn es in hoher Temperatur wiederum auf Kohlen trifft. Läſst diese Reduktion des Kohlendioxyds sich verhindern, so erhält man vollständige Verbrennung, im anderen Falle unvollständige.

c) Wasserstoff.

Das oben besprochene Verhalten des Wasserstoffs als Reduktionsmittel kennzeichnet auch die Art und Weise seiner Verbrennung durch freien Sauerstoff. Er ist leicht entzündlich; aber der entstehende Wasserdampf beginnt bei 1000° C. zu zerfallen, und die Menge des dissoziierten Wasserdampfes wächst mit der Temperatur. Je höher diese ist, desto mehr Wasserstoff und Sauerstoff befinden

---

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, Seite 74; Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 21, Seite 234; Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, Seite 287. Ähnliche Versuche wurden durch Thörner angestellt und in „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 80 veröffentlicht.

sich nebeneinander, ohne sich zu vereinigen; aber die Vereinigung beginnt wieder, wenn das heifse Gemisch von freiem Wasserstoff und freiem Sauerstoff Abkühlung erleidet.

Wasserdampf verhält sich demnach anderen Körpern gegenüber ähnlich wie Kohlendioxyd; er wirkt um so stärker oxydierend, je höher die Temperatur ist. Auch Kohlenstoff wird durch Wasserdampf in Glühhitze verbrannt; anders ausgedrückt: er reduziert den Wasserdampf, und Wasserstoff wird frei. Ist die Temperatur hoch, so entsteht als Verbrennungserzeugnis des Kohlenstoffs Kohlenoxyd:

$$H_2O + C = 2H + CO;$$

ist sie weniger hoch, so wird Kohlendioxyd gebildet:

$$2H_2O + C = 4H + CO_2.$$

Bei ausschliefslicher Bildung von Kohlenoxyd müfsten gleiche Raumteile Kohlenoxyd und Wasserstoff erfolgen; den Einflufs der Temperatur auf die Zusammensetzung des erfolgenden Gases zeigen nachstehende von Harris beim Hinüberleiten von Wasserdampf über Holzkohlen in einem Porzellanrohre erlangten Versuchsergebnisse[1]):

Temperatur	Zusammensetzung des Gases in Raumteilen			Von dem eingeleiteten Wasserdampfe waren zersetzt	Menge des eingeleiten Wasserdampfs in 1 Sekunde
	H	CO	CO_2		
758° C.	65,2	7,8	27,0	25,8 v. H.	1,8 l
861° C.	59,9	18,1	21,9	48,2 v. H.	5,3 l
954° C.	53,8	39,3	6,8	70,2 v. H.	6,3 l
1060° C.	50,7	48,0	1,3	93,0 v. H.	9,8 l
1125° C.	50,9	48,5	0,6	99,4 v. H.	11,3 l

Kohlenoxyd wird durch Wasserdampf oxydiert ($CO + H_2O = 2H + CO_2$), wenn dieser im Überschusse zugegen und die Temperatur ausreichend hoch (700° C. oder darüber) ist[2]); umgekehrt kann Kohlendioxyd durch Wasserstoff zu Kohlenoxyd reduziert werden ($CO_2 + 2H = CO + H_2O$), wenn die Menge des Wasserstoffs überwiegt[3]).

d) Kohlenwasserstoffe.

Von den beiden Bestandteilen dieser Verbindungen ist der Wasserstoff leichter, der Kohlenstoff schwieriger entzündlich und verbrennlich. Die Folge ist ein Zerfallen der Kohlenwasserstoffe bei der Verbrennung, sofern die Bedingungen für Erzielung einer vollkommenen Verbrennung nicht günstig sind: Wasserstoff ver-

[1]) Dinglers polyt. Journal, Bd. 317, Seite 545.
[2]) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 4 (Blass); 1903, Seite 693 (Ledebur); Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Bd. 18, S. 1647, 2724 und 2894 (Naumann und Pistor).
[3]) Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, Seite 312.

brennt, Kohlenstoff bleibt entweder im freien Zustande (als Rufs) oder in Form wasserstoffärmerer Kohlenwasserstoffe (Teer) unverbrannt. Die Rauch- und Rufsbildung zahlreicher Feuerungen beruht auf diesem Vorgange und verrät schon dem Auge die stattgehabte unvollständige Verbrennung.

Hohe Temperatur befördert auch hier die chemische Vereinigung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff. In sehr hoher Temperatur entsteht zwar, selbst wenn eine zur Kohlendioxydbildung ausreichende Sauerstoffmenge vorhanden ist, zunächst Kohlenoxyd neben freiem Sauerstoff, aber bei stattfindender Abkühlung vereinigen sich beide Körper zu Kohlendioxyd. Kohlenoxyd aber ist leichter entzündlich (verbrennlich) als Kohlenstoff, und hierin liegt die Erklärung, dafs bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen eine hohe Temperatur im Verbrennungsraume bei Anwesenheit einer ausreichenden Sauerstoffmenge in jedem Falle das geeignetste Mittel ist, um Rauch- und Teerbildung zu vermeiden.

e) Allgemeine Regeln zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung.

1. Vollständige Verbrennung ist bei Verbrennung flammender Brennstoffe nur mit einem Überschusse von Sauerstoff zu ermöglichen[1]).

Verbrennt man also gasförmige Körper durch atmosphärische Luft, so mufs mit ihnen so viel der letzteren gemischt werden, dafs mehr Sauerstoff zugegen ist, als rechnungsmäfsig zur vollständigen Verbrennung erforderlich sein würde; verbrennt man festen, flammenden Brennstoff auf einem Roste, so mufs zwischen dessen Spalten und den Stücken des Brennstoffs hindurch so viel Luft ihren Weg finden, dafs die vom Roste aufsteigenden, die Flamme bildenden Gase nicht allein den theoretisch für ihre Verbrennung erforderlichen Sauerstoff finden, sondern dafs auch noch überschüssiger Sauerstoff in dem abziehenden Gasgemenge zugegen ist.

Bei Verbrennung nichtflammender Brennstoffe (Holzkohlen, Koks, Anthraziten) ist eine vollständige Verbrennung mit um so geringerem Sauerstoffüberschufs erreichbar, je dichter und grofsstückiger die Brennstoffe sind, je reichlicher die Verteilung und je geringer die Spannung der Luft im Verbrennungsraume ist, und je rascher das beim Zusammentreffen von Brennstoff und Luft entstandene Kohlendioxyd unter jene Temperatur abgekühlt wird, in welcher es durch Vergasung eines zweiten Atoms Kohlenstoff in Kohlenoxyd umgewandelt wird[2]).

---

[1]) Die Tatsache entspricht einem allgemeinen Gesetze der Chemie. Jede chemische Reaktion erheischt, wenn sie in kurzer Spanne Zeit verlaufen soll, einen Überschufs des Reaktionsmittels, dessen Mafs von den besonderen, die Reaktion erschwerenden oder begünstigenden Verhältnissen (Vereinigungsbestreben der aufeinander wirkenden Körper, Temperatur, Verdünnungsgrad u. a. m.) abhängt.

[2]) Aus diesen Gründen ist man imstande, in Kupolöfen — Schachtöfen, in welchen die eintretende Luft eine Brennstoffschicht von mehreren Metern Höhe zu durchdringen hat — eine wenigstens annähernd vollständige Verbrennung zu erreichen, wenn die Öfen mit dichten, grofsstückigen Koks geheizt, diese durch

2. Eine hohe Temperatur in dem Verbrennungsraume befördert die chemische Vereinigung zwischen dem Sauerstoff und den brennbaren Bestandteilen und erleichtert somit bei Anwesenheit der genügenden Sauerstoffmenge die Erzielung einer vollständigen Verbrennung. Der nach 1. erforderliche Sauerstoffüberschufs kann geringer sein, wenn die Temperatur hoch ist. Rauch- und Rufsbildung werden, wie schon erwähnt, um so leichter vermieden, je höher die Temperatur im Verbrennungsraume ist. Fehlt es dagegen an Sauerstoff zur Erzielung der vollständigen Verbrennung, so ist der Erfolg entgegengesetzt: das in der hohen Temperatur gesteigerte Vereinigungsbestreben ermöglicht die Verbrennung der doppelten Menge Kohlenstoff durch die gleiche Menge Sauerstoff als in weniger hoher Temperatur, und statt des Kohlendioxyds entsteht Kohlenoxyd.

3. Innige Mischung der Brennstoffe mit der Verbrennungsluft erleichtert die Erzielung einer vollständigen Verbrennung. Die Gründe hierfür sind leicht einzusehen. Wie bei jedem anderen chemischen Vorgange wird die Vereinigung durch die ausgedehnte gegenseitige Berührung befördert, welche die innige Mischung bewirkt. Daher verbrennen gasförmige Brennstoffe, welche sich leicht mit der Verbrennnngsluft mischen lassen, durchschnittlich mit geringerem Luftüberschusse als feste[1]; ähnlich wie gasförmige Brennstoffe verhalten sich staubförmige (bei Kohlenstaubfeuerungen), welche, mit überschüssiger Luft gemischt, in den stark erhitzten Verbrennungsraum eingeführt werden[2].

4. Verdünnung der chemisch tätigen Stoffe (Sauerstoff einerseits, Kohlenstoff und Wasserstoff anderseits) mit fremden, untätig sich verhaltenden Stoffen erschwert die vollständige Verbennung. Auch dieser Satz ist nur die Anwendung eines allgemeineren Gesetzes der Chemie auf den Vorgang der Verbrennung.

Die atmosphärische Luft besteht aus ungefähr 77 Gewichtsteilen Stickstoff und nur 23 Gewichtsteilen Sauerstoff. Letzterer gelangt also in stark verdünntem Zustande zur Wirkung, und hierdurch erklärt sich die weit kräftigere Wirkung reinen Sauerstoff-

---

schwach gepreſste, aber in raschem Wechsel und genügender Verteilung zuströmende Luft verbrannt werden, und wenn man durch ein reichlich gewähltes Verhältnis der zu erhitzenden Körper zum Brennstoff eine baldige Abkühlung des zuerst gebildeten, im Ofen aufsteigenden Kohlendioxyds herbeiführt.

[1]) Mittel, um eine innige Mischung gasförmiger Brennstoffe mit der Luft zu bewirken, sind z. B.: Einführung beider Körper unter verschiedener Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit in den Verbrennungsraum; einiges Nähere hierüber bei Besprechung der Öfen.

[2]) Trotzdem sind Kohlenstaubfeuerungen nur vereinzelt und weit seltener als Gasfeuerung zur Anwendung gelangt. Zwei Umstände liefern die Erklärung hierfür. Ihre Anlage- und Betriebskosten sind, zumal in Rücksicht auf die erforderliche weitgehende Zerkleinerung des Brennstoffs, ziemlich hoch; der Aschengehalt des Brennstoffs aber, welcher in dem Feuerungsraume zurückbleibt, wird hier in mehrfacher Beziehung lästig.

gases. Verbrennt aber ein Körper mit Flamme, d. h. unter Entwicklung und Fortbewegung brennbarer Gase, so ist an irgendeiner Stelle der Flamme der noch vorhandene Sauerstoff um so stärker auch mit den bereits entstandenen Verbrennungserzeugnissen verdünnt, je weiter diese Stelle von der Wurzel der Flamme, wo die Verbrennung begann, entfernt ist. Die Verbrennung würde also nach der Spitze der Flamme zu immer schwieriger werden, wenn sie nicht andererseits durch die nach derselben Richtung hin stattfindende Zunahme der Temperatur — eine Folge der bereits stattgehabten Verbrennung — befördert würde. Trotzdem erhält man, wie bekannt, nicht selten eine an der Spitze rauchende Flamme, wenn man nicht besondere Kunstgriffe verwendet, um die Verbrennung an dieser Stelle zu erleichtern.

Aus dem benachteiligenden Einflusse, welchen die Verdünnung der zu verbrennenden Körper durch andere Stoffe auf den Verlauf der Verbrennung übt, folgt auch, dafs bei der Verbrennung flammenbildender Körper ein unnötig grofser Luftüberschufs die Erzielung der vollständigen Verbrennung nicht erleichtert, sondern erschwert, mit anderen Worten: dafs eine Grenze für den zur Erzielung vollständiger Verbrennung unentbehrlichen Luftüberschufs gegeben ist, abhängig von der Beschaffenheit des Brennstoffs, der Einrichtung der Feuerung und der im Feuerungsraume herrschenden Temperatur.

3. Wärmeerzeugung und Verbrennungstemperatur.

a) Wärmeerzeugung.

Ein Körper wird Brennstoff genannt, wenn er dazu bestimmt ist, durch seine Verbrennung Wärme zu entwickeln. Sein Wert als Brennstoff hängt in diesem Falle vornehmlich von der Wärmemenge ab, welche er bei der Verbrennung liefert. Man kann die von der Gewichtseinheit (z. B. 1 kg) des Körpers bei der Verbrennung entwickelte Wärmemenge als seine Wärmeleistung oder seinen Brennwert bezeichnen, und man mifst diese Wärmemenge nach Wärmeeinheiten (in folgendem mit W.-E. bezeichnet) oder Kalorien, wobei man unter einer Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge versteht, welche erforderlich ist, die Temperatur einer Gewichtseinheit (1 kg) Wasser von Null Grad auf 1 Grad zu erhöhen.

Auch wenn ein Körper nicht als Brennstoff in dem obigen Sinne zu dienen bestimmt ist, kann doch seine Wärmeleistung für den Verlauf mancher Verfahren bedeutungsvoll und die Kenntnis dieser Wärmeleistung notwendig sein für die richtige Beurteilung jenes Verlaufs. Wenn z. B. bei einem metallurgischen Vorgange Oxydation einzelner Bestandteile der in Verarbeitung begriffenen Metalle oder metallischen Verbindungen stattfindet und dabei Wärme entwickelt wird, so kann diese entwickelte Wärme Einflüsse auf den Verlauf des betreffenden Vorganges ausüben. Wird aber ein Körper aus seiner Verbindung mit Sauerstoff reduziert, so ist dafür dieselbe Wärmemenge erforderlich, welche bei der Bildung der

Verbindung frei wurde, und dieser Wärmeverbrauch mufs, wenn die Reduktion gelingen soll, gedeckt werden. Man mufs also Sorge tragen, dafs in irgendeiner Weise die erforderliche Wärmemenge erzeugt und dem zu reduzierenden Oxyde zugeführt werde.

Leider ist unsere Kenntnis von der durch die Verbrennung erzeugten oder für die Reduktion erforderlichen Wärme hinsichtlich mancher Körper, welche bei den Vorgängen der Eisendarstellung handelnd auftreten, noch unvollständig, und nicht selten müssen wir uns mit Annäherungswerten begnügen. Besonders erschwert wird die Benutzung vorhandener Ermittlungen über die Verbrennungswärme in solchen Fällen, wo der betreffende Körper mehr als eine Verbindung mit Sauerstoff einzugehen imstande ist (Eisen, Mangan u. a.); denn häufig ist die Verbrennungswärme nur einer dieser Oxydationsstufen bestimmt, und die Beobachtung im Betriebe sowohl als die Wissenschaft lehren uns, dafs bei der Bildung mehrerer Oxydationsstufen desselben Körpers, insbesondere auch Metalls, die erzeugte Wärme nicht im gleichen Verhältnisse zu der verbrauchten Sauerstoffmenge steht[1]).

Aber nicht allein bei der Verbrennung eines Körpers wird Wärme erzeugt. Auch die Entstehung anderer Verbindungen oder von Lösungen der Körper ineinander ist häufig mit einer Wärmeentwicklung verbunden, und die nämliche Wärmemenge mufs aufgewendet werden, wenn die Verbindung oder Lösung zum Zerfallen gebracht wird. Bei der Entstehung der wichtigen Vereinigungen (Legierungen) des Eisens mit Mangan oder dieser Metalle mit Kohle, Silizium, Phosphor, Schwefel u. a., bei der Entstehung und Zerlegung von Silikaten und Phosphaten, bei der Zerlegung der Hydroxyde und Karbonate des Eisens und Mangans, welche wichtige Erzgattungen bilden, und in ähnlichen Fällen findet Entwicklung oder Verbrauch von Wärme statt; aber unsere Kenntnis dieser sogenannten Wärmetönungen ist, zumal wenn es sich um feuerflüssige Lösungen oder Verbindungen handelt, noch ziemlich beschränkt.

Die Ziffern für die Verbrennungswärme der wichtigsten bei der Darstellung des Eisens in Betracht kommenden Körper sind, soweit unsere jetzige Kenntnis es gestattete, in folgendem zusammengestellt; über den Wärmeverbrauch zur Zerlegung von Karbonaten und Hydroxyden werden in den einzelnen Fällen, wo dieser Wärmeverbrauch in Betracht kommt, die betreffenden Angaben gemacht werden.

Kohlenstoff. Die Verbrennungswärme der verschiedenen Formen der Kohle (Graphit, Holzkohle, Diamant) ist, wie Favre und Silbermann fanden, nicht genau gleich. Sie schwankt bei der Verbrennung eines Kilogramms Kohle zu Kohlendioxyd zwischen 7770 und 8080 W.-E.[2]). Der nicht beträchtliche Unterschied läfst sich bei den

[1]) Thomsen sagt in seinen Thermochemischen Untersuchungen, Bd. 3, Seite 527: „Kann ein Metall mehrere Sauerstoffverbindungen bilden, so beobachtet man fast überall, dafs das normale Verbrennungsprodukt des Metalls die gröfste Bildungswärme besitzt, d. h. für die gleiche Menge Sauerstoff die gröfste Wärmeentwicklung gibt."

[2]) Annales de chimie et de physique, Reihe 3, Bd. 34. Erklärung dieser Abweichungen: Hans Jahn, Die Grundsätze der Thermochemie, 2. Aufl. Seite 15.

Wärmeberechnungen der Vorgänge des Eisenhüttenbetriebes um so eher vernachlässigen, als es sich hierbei aus den schon berührten Gründen überhaupt nur um Annäherungswerte handeln kann. Folgende Werte sollen bei den späteren Berechnungen benutzt werden:

1 kg Kohlenstoff (im festen Zustande) entwickelt:

bei der Verbrennung mit $^4/_3$ kg Sauerstoff zu $^7/_3$ kg Kohlenoxyd **2470** W.-E.

bei der Verbrennung mit $^8/_3$ kg Sauerstoff zu $^{11}/_3$ kg Kohlendioxyd **8080** W.-E.

Sowohl bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd als zu Kohlendioxyd ist eine Vergasung des Kohlenstoffs erforderlich, welche in beiden Fällen den gleichen Wärmeverbrauch erheischt. Hieraus erklärt es sich, daſs die gleiche Menge Kohle, obgleich sie bei Kohlendioxydbildung nur die doppelte Menge Sauerstoff als bei Kohlenoxydbildung verbraucht, doch in dem ersteren Falle mehr als die dreifache Wärmemenge entwickelt.

Kohlenoxyd. Die Wärmeentwicklung bei Verbrennung zu Kohlendioxyd läſst sich aus dem Vorausgehenden ableiten. Da $^7/_3$ kg Kohlenoxyd bei der Verbrennung zu Kohlendioxyd 8080 − 2470 = 5610 W.-E. entwickeln, liefert 1 kg Kohlenoxyd bei der Verbrennung mit $^4/_7$ kg Sauerstoff zu $^{11}/_7$ kg Kohlendioxyd **2400** W.-E.[1]).

Wasserstoff. Bei der Verbrennung von 1 kg Wasserstoff mit der achtfachen Gewichtsmenge Sauerstoff zu 9 kg Wasserdampf (nur dieser, nicht flüssiges Wasser kann bei Feuerungen in Betracht kommen) werden nach Regnault **28780** W.-E. entwickelt.

Kohlenwasserstoffe. Eine sichere Berechnung der Wärmeleistung dieser Verbindungen, zu welchen im weiteren Sinne auch die natürlich vorkommenden Brennstoffe gehören, aus der Wärmeleistung ihrer Bestandteile ist nicht möglich, weil man die bei ihrer Bildung verbrauchte oder frei gewordene Wärme nicht kennt. Die durch Versuche ermittelten Ziffern der Verbrennungswärme natürlicher Brennstoffe werden bei Besprechung der letzteren mitgeteilt werden; unter den Kohlenwasserstoffen bestimmter chemischer Zusammensetzung verdienen das Methan CH_4 (Sumpfgas, Grubengas, leichtes Kohlenwasserstoffgas) und das Äthylen C_2H_4 (schweres Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas) hier erwähnt zu werden.

Methan (chemische Formel CH_4) entwickelt bei der Verbrennung mit der vielfachen Gewichtsmenge Sauerstoff zu Kohlendioxyd und Wasserdampf **12000** W.-E.[2]).

Äthylen (chemische Formel C_2H_4) entwickelt bei seiner Verbrennung mit der dreiundeinhalbfachen Gewichtsmenge Sauerstoff zu Kohlendioxyd und Wasserdampf **11200** W.-E.[3]).

[1]) Nach Berthelot liefern $^7/_3$ kg Kohlenoxyd 5683 W.-E.; also 1 kg 2436 W.-E. Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Bd. 13, Seite 13. Die oben angestellte Berechnung der Wärmeleistung stützt sich auf das von Hess bewiesene Gesetz, daſs die bei einem chemischen Vorgange stattfindende Wärmeentwicklung stets die nämliche ist, gleichviel, ob der Vorgang auf einmal oder in beliebig vielen getrennten Abteilungen verlaufe (Poggendorffs Annalen, Bd. 50, Seite 385).

[2]) Nach Thomsen, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Bd. 13, Seite 1324.

[3]) Naumann, Die Heizungsfrage, Seite 49.

Eisen. Wenn Eisen aus seinen Sauerstoffverbindungen reduziert wird, oder wenn eine Verbrennung von Eisen stattfindet, ist dessen Verbrennungswärme von Belang. Nun vermag aber das Eisen, wie bekannt, verschiedene Sauerstoffverbindungen einzugehen, von denen das Eisenoxydul (FeO) und Eisenoxyd (Fe_2O_3) eine bestimmte chemische Zusammensetzung besitzen, während die Zusammensetzung des Eisenoxyduloxyds, für welche man häufig die Formel Fe_3O_4 angegeben findet, nicht stets die gleiche ist. Gewöhnlich ist der Sauerstoffgehalt geringer als in der Verbindung Fe_3O_4.

Bei der Bildung dieser verschiedenen Oxyde liefert die gleiche Menge Sauerstoff um so weniger Wärme, je sauerstoffreicher die Verbindung ist.

Dulong fand bei der Verbrennung des Eisens mit Sauerstoff zu Eisenoxyduloxyd für 1 kg verbrannten Eisens 1648 W.-E.[1]), Andrews auf demselben Wege 1582 W.-E.[2]). Der Unterschied ist durch den Umstand begründet, dafs bei der Verbrennung des Eisens nicht immer genau dieselbe Oxydationsstufe entsteht; eine Untersuchung des verbrannten Eisens auf seinen Sauerstoffgehalt fand aber in den erwähnten Fällen nicht statt. Mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit läfst sich annehmen, dafs das Verbrennungserzeugnis bei Dulongs Versuch annähernd der Formel Fe_3O_4 entsprach, während bei Andrews Versuchen ein etwas weniger hoch oxydiertes Eisen erfolgte. Die von Dulong gefundene Ziffer (1648 W.-E. bei Verbrennung zu Fe_3O_4) soll deshalb auch bei den späteren Berechnungen zugrunde gelegt werden.

Bei Bildung von Eisenoxydul (FeO) auf nassem Wege fanden Favre und Silbermann die Wärmeentwicklung für 1 kg Eisen 1351 W.-E.[3]). Da Eisenoxyduloxyd (Fe_3O_4) aus $FeO + Fe_2O_3$ bestehend gedacht werden kann, ergibt die Rechnung unter Benutzung der von Dulong, Favre und Silbermann gefundenen Ziffern eine Wärmeentwicklung bei der Bildung des Eisenoxydes Fe_2O_3 für 1 kg oxydierten Eisens (oder den Wärmeverbrauch zur Reduktion dieser Verbindung) gleich 1796 W.-E., wobei allerdings die bei der Vereinigung des Oxyduls mit Oxyd zu Oxyduloxyd etwa eintretende Wärmeentwicklung unberücksichtigt geblieben ist.

Man hat also in abgerundeten Ziffern folgende Werte für die Verbrennungs- oder Reduktionswärme des Eisens:

a) auf 1 kg Eisen bezogen:

bei der Bildung oder Reduktion von Eisenoxydul FeO **1350** W.-E.
" " " " " " Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 = **1650** W.-E.
" " " " " " Eisenoxyd Fe_2O_3 **1800** W.-E.

---

[1]) Poggendorffs Annalen, Bd. 45, Seite 161.
[2]) Ebenda, Bd. 75, S. 45.
[3]) Annales de chimie et de physique, Reihe 3, Bd. 37, Seite 485. Favre und Silbermann geben an, dafs 1 Äquivalent Eisen 37828 W.-E. entwickle. 1 Äquivalent sind 28 Gewichtsteile; hieraus ergibt sich die oben mitgeteilte Ziffer.

b) auf 1 kg Sauerstoff bezogen:

bei der Bildung oder Reduktion von Eisenoxydul FeO **4730** W.-E.
" " " " " " Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 = **4330** W.-E.
" " " " " " Eisenoxyd Fe_2O_3 **4190** W.-E.[1])

Mangan. Von den verschiedenen Sauerstoffverbindungen des Mangans kommen bei der Darstellung des Eisens vorzugsweise das Manganoxydul (MnO) als diejenige Form, in welcher das Mangan in allen Schlacken auftritt, das Manganoxyduloxyd Mn_3O_4, welches beim Glühen sämtlicher Manganoxyde entsteht, und das Mangandioxyd MnO_2, der Hauptbestandteil des wichtigsten Manganerzes (Braunsteins), in Betracht. Leider sind die vorliegenden Ermittlungen über die Verbrennungswärme des Mangans noch ziemlich lückenhaft. Wedding berechnete aus Angaben Thomsens über die Wärmetönungen bei der Entstehung von Hydroxyden und Sulfaten des Mangans die Wärmeentwicklung bei der Verbrennung von 1 kg Mangan zu Manganoxydul = 1817 W.-E., zu Manganoxyduloxyd = 1947 W.-E., zu Mangandioxyd = 2209 W.-E.[2]); H. Le Chatelier fand durch Versuche die Wärmeentwicklung bei Verbrennung von 1 kg Mangan zu Manganoxydul = 1651 W.-E., zu Manganoxyduloxyd = 1987 W.-E., zu Mangandioxyd = 2290 W.-E.[3]). Nimmt man von beiden Bestimmungen die Mittelwerte in abgerundeten Ziffern, so erhält man

a) auf 1 kg Mangan bezogen:

bei der Bildung oder Reduktion von Manganoxydul MnO = **1730** W.-E.
" " " " " " Manganoxyduloxyd Mn_3O_4 = **1970** W.-E.
" " " " " " Mangandioxyd MnO_2 = **2250** W.-E.

---

[1]) Wedding (Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 923) gibt folgende Ziffern für die Verbrennungswärme von 1 kg Eisen:
bei der Bildung von Eisenoxydul FeO . . . . 1332 W.-E.
" " " " Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 . . 1648 "
" " " " Eisenoxyd Fe_2O_3 . . . . . 1876 "
Hiernach würde 1 kg Sauerstoff bei der Bildung des weniger beständigen Eisenoxyds Fe_2O_3 mehr Wärme entwickeln als bei der Bildung des Eisenoxyduloxyds Fe_3O_4, was nicht wahrscheinlich ist.
Durch den unmittelbaren Versuch fand H. Le Chatelier (Comptes rendus, Bd. 120, Seite 624) die Verbrennungswärme von 1 kg Eisen
bei der Bildung von Eisenoxydul FeO. . . . . 1153 W.-E.
" " " " Eisenoxyd Fe_2O_3 . . . . . 1735 "
und die durch 1 kg Sauerstoff bei Entstehung sämtlicher Oxydationsstufen entwickelte Wärme übereinstimmend = 4040 W.-E., was ebenfalls um so geringere Wahrscheinlichkeit für sich hat, da die Ziffern niedriger sind als alle früher gefundenen.

[2]) Eisenhüttenkunde, Bd. 1, Seite 924; Thomsen, Thermochemische Untersuchungen, Bd. 3, Seite 269 und 526.

[3]) Comptes rendus, Bd. 122, Seite 81.

b) auf 1 kg Sauerstoff bezogen:

bei der Bildung oder Reduktion von Manganoxydul MnO
= **5950** W.-E.
" " " " " " Manganoxyduloxyd Mn_3O_4
= **5080** W.-E.
" " " " " " Mangandioxyd MnO_2
= **3870** W.-E.

Silizium. Bei den Vorgängen der Eisendarstellung ist nur das eine Oxyd dieses Körpers, die Kieselsäure (richtiger das Kieselsäureanhydrid) SiO_2 von Belang. Nach Versuchen von Troost und Hautefeuille[1]) beträgt die Verbrennungswärme des Siliziums bei der Entstehung jener Verbindung **7830** W.-E. für 1 kg Silizium, also für 1 kg Sauerstoff **6850** W.-E.

Phosphor. Nur die Bildungs- und Zerlegungswärme des Phosphorsäureanhydrids P_2O_5 kommt bei den Verfahren der Eisendarstellung in Betracht. Dulong[2]) fand eine Wärmeentwicklung von 5760 W.-E. bei Verbrennung von 1 kg Phosphor; Thomsen fand 5966 W.-E.[3]); Adria 5851 W.-E.; Andrews 5932 W.-E.[4]). Als Mittelwert in runder Ziffer sind **5900** W.-E. anzunehmen. 1 kg Sauerstoff liefert demnach bei der Bildung jener Verbindung **4572** W.-E.

Aluminium. Man benutzt dieses Metall als Zusatz zu geschmolzenem Eisen, wenn dieses Gelegenheit gehabt hatte, Sauerstoff aufzunehmen, zur Zerstörung des hierbei gebildeten und im Metalle gelösten Eisenoxyduls ($2\,Al + 3\,FeO = Al_2O_3 + 3\,Fe$). Wedding nimmt als Wärmeentwicklung bei Verbrennung von 1 kg Aluminium 7241 W-.E. an[5]); Thomsen fand bei der Bildung des Hydrats Al_2O_3, $3\,H_2O$ die Wärmeentwicklung für das Doppelatom Al_2 = 388 920 W.-E.[6]), also, wenn das Atomgewicht des Aluminiums = $27_{,04}$ angenommen wird, die Wärmeentwicklung für 1 kg = 7191 W.-E.; Berthelot fand nach Angabe Weddings[7]) 7212 W.-E. Als Mittelwert kann man, ohne von der Wahrheit sehr abzuweichen, die Wärmeentwicklung durch 1 kg verbrennenden Aluminiums = **7200** W.-E. annehmen; auf 1 kg Sauerstoff bezogen = **8100** W.-E.

b) Verbrennungstemperatur.

Der Verlauf der Verfahren der Eisendarstellung ist nicht allein von der dabei entwickelten Wärmemenge, sondern auch von der

---

[1]) Comptes rendus, Bd. 70, Seite 254; Dinglers polyt. Journal 1870, 1. Aprilheft.

[2]) Poggendorffs Annalen, Bd. 45, Seite 461.

[3]) Thomsen, Thermochemische Untersuchungen, Bd. 2, Seite 226 und 409.

[4]) Thermochemische Untersuchungen, Bd. 3, Seite 239. Nach Berthelot ist die Wärmeentwicklung 7900 W.-E. (Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, Seite 172).

[5]) Eisenhüttenkunde, Bd. 1, Seite 926. Woher die Ermittlung stammt, ist nicht angegeben.

[6]) Thermochemische Untersuchungen, Bd. 3, Seite 240.

[7]) A. a. O.

erzeugten Temperatur abhängig; einige Verfahren erheischen zum Gelingen so hohe Temperaturen, dafs es besonderer Mafsnahmen zu deren Erzeugung bedarf. Man mufs demnach die Umstände kennen, welche die bei der Verbrennung eines Körpers entstehende Temperatur bedingen. Zur Erlangung dieser Kenntnis vergegenwärtige man sich, dafs die bei der Verbrennung entwickelte Wärme zunächst von den Verbrennungserzeugnissen (einschliefslich des Stickstoffes der benutzten atmosphärischen Luft, des überschüssig in das Gasgemenge geführten Sauerstoffs, der entstandenen Asche usw.) aufgenommen wird, diese auf eine Temperatur erhitzend, welche abhängig ist von der Menge jener Verbrennungserzeugnisse und von ihrer spezifischen Wärme. Bezeichnet man mit W die gesamte entwickelte Wärme in W.-E., mit T die Temperatur der Verbrennungserzeugnisse (Verbrennungstemperatur), mit $Q_1 Q_2 Q_3 \ldots$ das Gewicht der Verbrennungserzeugnisse, mit $s_1 s_2 s_3 \ldots$ ihre spezifische Wärme, so ist;

$$W = T\,(Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + Q_3 s_3 + \ldots)$$

und demnach die theoretische Verbrennungstemperatur, sofern keine Wärmeabgabe an fremde Körper stattfände:

$$T = \frac{W}{Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + Q_3 s_3 + \ldots}$$

Da jedoch aufser den Verbrennungserzeugnissen in allen Fällen fremde Körper zugegen sind, welche sofort Wärme aufnehmen, z. B. die Wände des Heizraums, die in den Heizraum zum Zwecke ihrer Erhitzung gebrachten Körper u. a. m., so ist die bei einer Verbrennung wirklich erzeugte Temperatur stets niedriger als die nach obiger Gleichung berechnete. Aufserdem darf man bei der Berechnung nicht aufser acht lassen, dafs die Dissoziationstemperatur der Verbrennungserzeugnisse überhaupt nicht überschritten werden kann. Berechnet man z. B. nach obiger Gleichung die theoretische Verbrennungswärme des Wasserstoffs unter der Annahme, dafs weder überschüssige Luft noch unverbrannter Wasserstoff in die Verbrennungserzeugnisse geführt werde, so ergibt sich bei der Verbrennung mit Luft eine theoretische Verbrennungstemperatur von 2665° C., bei Verbrennung mit reinem Sauerstoff sogar von 6670° C. In Wirklichkeit aber bleibt von dem vorhandenen Wasserstoff auch bei Gegenwart einer ausreichenden Menge von Sauerstoff ein um so reichlicherer Teil unverbrannt, je höher die Temperatur im Verbrennungsraume über 1000° C. liegt. Der unverbrannt gebliebene Wasserstoff nebst dem zugehörigen Sauerstoff und dem von diesem etwa mitgebrachten Stickstoff nimmt demnach lediglich Wärme auf und geht in den Nenner des Bruchs

$$\frac{W}{Q_1 s_1 + Q_2 s_2 + \ldots}$$

ein, ohne Wärme zu entwickeln. Immerhin gibt die Gleichung ein wertvolles Hilfsmittel, um die bei Anwendung verschiedener Brennstoffe erreichbaren Temperaturen zu vergleichen und den Grad der Verwendbarkeit des einen oder des anderen Brennstoffs für diesen oder jenen Zweck danach zu bemessen. Sie liefert uns ferner die

Erklärung für verschiedene Einflüsse, welche bei der Erzeugung hoher Temperaturen eine Rolle spielen.

Zunächst zeigt sich, dafs zwar die theoretische Verbrennungstemperatur unabhängig ist von der Menge des verbrauchten Brennstoffs, weil in dem nämlichen Verhältnisse mit der Menge des Brennstoffs die erzeugte Wärmemenge im Zähler der Gleichung und die Menge der Verbrennungserzeugnisse im Nenner sich ändert; da indes die wirklich entstehende Temperatur nicht allein von der Menge der Verbrennungserzeugnisse, sondern allgemein von der Menge aller wärmeaufnehmenden, mit den Verbrennungserzeugnissen unmittelbar in Berührung tretenden Körpern abhängt, so nimmt sie mit der Menge des in bestimmter Zeit verbrannten Brennstoffs zu, sofern nicht auch die Menge der wärmeaufnehmenden Körper in dem gleichen Mafse gesteigert wird. Wenn z. B. in einem Schmelzofen, in welchem Erze mit Kohlen geschmolzen werden, der Brennstoffsatz erhöht wird, so nimmt die Temperatur zu; erhöht man den Erzsatz, so mufs die Temperatur sinken. Aus demselben Grunde steigt die Temperatur, wenn die Verbrennung einer bestimmten Brennstoffmenge durch Zuführung einer reichlicheren Luftmenge beschleunigt wird; mehr Wärme als zuvor wird in der gleichen Zeit entwickelt, aber die unvermeidlichen Wärmeverluste durch Wärmeabgabe nach aufsen, z. B. durch Strahlung, wachsen nicht in dem gleichen Mafse.

Eine Steigerung der Temperatur mufs eintreten, wenn man von aufsen her, z. B. durch Vorwärmung der Verbrennungsluft oder der Brennstoffe, Wärme zuführt, welche beim Verbrennungsvorgange nutzbar gemacht wird; *denn man erhält in diesem Falle bei Anwendung derselben Menge Brennstoff eine gröfsere Wärmemenge als zuvor ohne Vermehrung der Verbrennungserzeugnisse; der Wert W in obiger Gleichung wird gröfser, während der Nenner unverändert bleibt, und die Zahl T wächst daher in gleichem Verhältnisse mit W.* Bei verschiedenen Verfahren der Eisendarstellung macht man hiervon mit Erfolg Anwendung zur Erzielung hoher Temperaturen.

Zur besseren Verdeutlichung dieser für die Höhe der Verbrennungstemperatur mafsgebenden Einflüsse möge zunächst der Fall berechnet werden, wenn Kohlenstoff, nachdem er auf die Entzündungstemperatur, also etwa 500° C., erwärmt wurde, mit Luft von Null Grad Temperatur zu Kohlenoxyd verbrannt wird. Nach früherem beträgt die durch 1 kg Kohlenstoff hierbei entwickelte Wärme 2470 W.-E.; hierzu kommt diejenige Wärme, welche der erhitzte Kohlenstoff bereits besafs. Nimmt man die spezifische Wärme des Kohlenstoffs in dieser Temperatur $= 0{,}22$, so beträgt jene von 1 kg mitgebrachte Wärme $0{,}22 \times 500 = 110$ W.-E. Die Verbrennungserzeugnisse aus 1 kg Kohlenstoff bestehen aus 2,33 kg Kohlenoxyd mit der spezifischen Wärme 0,248 und 4,46 kg Stickstoff[1]) mit der spezifischen Wärme 0,244; demnach würde die theoretische Verbrennungstemperatur sein:

$$T = \frac{2470 + 110}{2{,}33 \times 0{,}248 + 4{,}46 \times 0{,}244} = 1549^\circ \text{ C.}$$

Ist nun aber der Kohlenstoff, bevor er in den Verbrennungsraum gelangt, nicht blofs auf die Entzündungstemperatur, sondern auf eine höhere Temperatur, etwa auf 1200° C., vorgewärmt, z. B. beim Niederrücken in einem Schachtofen, so bringt er auch eine entsprechend reichlichere Wärmemenge mit, und zwar in

[1]) 1 kg Kohlenstoff bedarf zur Verbrennung $^4/_3$ kg Sauerstoff, welcher in der atmosphärischen Luft gemischt ist mit $^4/_3 \cdot {}^{77}/_{23} = 4{,}46$ kg Stickstoff.

dem angenommenen Falle $0{,}22 \times 1200 = 264$ W.-E.[1]), und die theoretische Verbrennungstemperatur steigt alsdann auf

$$\frac{2470 + 264}{2{,}33 \times 0{,}248 + 4{,}46 \times 0{,}244} = 1642^0 \text{ C.}$$

Nun möge aber die Verbrennungsluft nicht kalt, sondern, wie es beim Hochofenbetriebe Regel ist, in besonderen Vorrichtungen ebenfalls bereits erhitzt sein, beispielsweise auf 600° C. Setzt man die spezifische Wärme der Luft in dieser Temperatur $= 0{,}237$, so führt die zur Verbrennung von 1 kg Kohle erforderliche Luft, deren Menge $1{,}33$ kg $+ 4{,}46$ kg $= 5{,}79$ kg beträgt, dem Ofen $5{,}79 \times 600 \times 0{,}237 = 823$ W.-E. zu. Es ist dann die gesamte, bei Verbrennung von 1 kg auf 1200° C. vorgewärmter Kohle gewonnene Wärmemenge $2470 + 264 + 823 = 3557$ W.-E.; daher die theoretische Verbrennungstemperatur

$$\frac{3557}{2{,}33 \times 0{,}248 + 4{,}46 \times 0{,}244} = 2135^0 \text{ C.}$$

Umgekehrt bewirkt jede Vermehrung der Verbrennungserzeugnisse ohne gleichzeitige entsprechende Vergröfserung der Wärmemenge eine Erniedrigung der Verbrennungstemperatur. Von zwei Brennstoffen mit gleichem Brennwerte vermag im allgemeinen derjenige die höhere Verbrennungstemperatur zu erzeugen, welcher die geringere Luftmenge zur Verbrennung gebraucht, denn die geringere Luftmenge führt auch die geringere Menge Stickstoff in das Gemisch der Verbrennungserzeugnisse; ebenso erniedrigt jede überschüssig zugeführte Luftmenge die Verbrennungstemperatur. Nach früherem aber ist eine vollständige Verbrennung, welche allein die volle Ausnutzung des Brennstoffs gestattet, nicht ohne einen Sauerstoffüberschufs erreichbar, und letzterer wiederum kann geringer ausfallen, wenn die Temperatur in dem Verbrennungsraume hoch ist. Hieraus ergibt sich ein zweiter günstiger Einflufs jener Vermehrung der Wärme durch Zuführung von aufsen (Vorwärmung der Brennstoffe und der Luft), welcher besonders deutlich bei Gasfeuerungen zur Geltung gelangt: indem man zunächst unmittelbar eine Temperatursteigerung hervorruft, erleichtert man die Verbrennung, ermöglicht also die Abminderung des erforderlichen Sauerstoffüberschusses und erhöht dadurch abermals die Temperatur, bis jene Grenze erreicht ist, wo die Dissoziation der Verbrennungsgase der weiteren Steigerung ein Ziel setzt.

In noch stärkerem Mafse als überschüssige Luft erniedrigt ein Wassergehalt der Verbrennungserzeugnisse, dem Brennstoffe oder der Verbrennungsluft entstammend, die Verbrennungstemperatur, da seine spezifische Wärme ($0{,}475$) beträchtlicher ist als die irgendeines anderen gasförmigen Verbrennungserzeugnisses. Es erklärt sich hieraus, dafs wasserreiche Brennstoffe niemals fähig sind, hohe Verbrennungstemperaturen zu liefern.

Eine beträchtliche Erhöhung der Verbrennungstemperatur läfst sich dagegen erzielen, wenn man statt der atmosphärischen Luft reinen oder doch weniger stark durch Stickstoff verdünnten Sauerstoff verwendet, denn die Menge der wärmeaufnehmenden Verbrennungserzeugnisse fällt dann entsprechend geringer aus, und

---

[1]) Der Umstand, dafs die spezifische Wärme der stärker erhitzten Kohle sich etwas höher beziffert, ist hier als unwesentlich aufser Betracht gelassen worden.

mit geringerem Sauerstoffüberschusse ist in diesem Falle die vollständige Verbrennung zu ermöglichen. Leider ist bis jetzt kein für die Benutzung im grofsen ausreichend billiges Mittel zur Erreichung des Zieles bekannt.

c) Wärmeabgabe.

Der nächste Zweck bei der Wärmeentwicklung durch die Verbrennung eines Brennstoffs ist die Erwärmung fremder Körper. Die wärmeabgebenden Körper sind die Verbrennungserzeugnisse und daher meistens — bei den Brennstoffen im engeren Sinne regelmäfsig — gasförmig. Verschiedene Umstände können die Wärmeabgabe beeinflussen. Sie wird begünstigt:

1. Durch einen grofsen Temperaturunterschied der wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Körper; also allgemein durch eine hohe Temperatur der ersteren. Bezeichnet t den Temperaturunterschied, so steigert sich nach Versuchen von Dulong und Petit[1]) bei dessen Zunahme die Geschwindigkeit der Wärmeabgabe in dem Verhältnisse $t^{1,232}$. Hieraus folgt, dafs alle jene besprochenen Mittel, welche die Erzielung hoher Verbrennungstemperaturen bewirken, auch die Wärmeabgabe begünstigen.

2. Durch längere Zeitdauer der Einwirkung. Dieser Satz bedarf keines Beweises, erklärt aber mancherlei Vorkommnisse des Betriebes. Je länger die Verbrennungsgase innerhalb eines Ofens mit den zu erhitzenden Körpern in Berührung bleiben, desto mehr Wärme können sie an diese abgeben, desto abgekühlter verlassen sie den Ofen.

3. Durch grofse Berührungsfläche zwischen den wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Körpern.

4. Durch ein grofses Wärmeleitungsvermögen der zu erwärmenden Körper, welche die Wärme zunächst an ihrer Aufsenfläche aufnehmen und dann nach den inneren Teilen hin fortpflanzen.

5. Durch entgegengesetzte Bewegung der zu erwärmenden und der wärmeabgebenden Körper. Dieser unter dem Namen Gegenstromgesetz bekannte Lehrsatz ist von Bedeutung für die Wärmeabgabe bei irgendeinem Vorgange. Ziehen die Körper nebeneinander her, oder verharren die zu erhitzenden Körper in Ruhe, so kann nur so lange Wärmeabgabe stattfinden, bis sämtliche Körper die gleiche Temperatur angenommen haben, und die wärmeabgebenden Körper verlassen mit dieser Temperatur den Heizraum; ziehen sie in entgegengesetzter Richtung, so können die wärmeabgebenden Körper bis auf die Anfangstemperatur der zu erhitzenden Körper abgekühlt werden, und umgekehrt. Die Wärmeabgabe ist vollständiger und die von den zu erhitzenden Körpern erreichbare Temperatur höher.

---

[1]) Annales de chimie et de physique, Reihe 1, Bd. 7, Seite 225; vergleiche auch dieselbe Zeitschrift Reihe 3, Bd. 16, Seite 337.

Literatur.

Einzelne Werke.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von Franz Kupelwieser. Paris 1877. Seite 43—70.
Dr. Hermann Wedding, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde. 2. Aufl., Bd. 1. Braunschweig 1891—1896. Seite 904—934.
A. Ledebur, Die Öfen für metallurgische Prozesse. Freiberg 1878. Seite 1—23.
Fr. Siemens, Über den Verbrennungsprozefs mit besonderer Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887.
F. Fischer, Feuerungsanlagen für häusliche und gewerbliche Zwecke. Karlsruhe 1889.

Abhandlungen in Zeitschriften.

A. Ledebur, Reduktion und Oxydation. Berg- und hüttenmänn. Zeitung 1879, 393.
R. Åkerman, Verhalten von oxydiertem und metallischem Eisen zu Kohlenoxyd, Wasser und Wasserstoff. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, Seite 425.
A. Ledebur, Wird bei der Verbrennung von Kohle durch hohe Temperatur Kohlensäure- oder Kohlenoxydgasbildung befördert? „Stahl und Eisen", 1882, Seite 356.
Naumann und Pistor, Über Reduktion des Kohlendioxyds durch Kohle zu Kohlenoxyd. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft, Bd. 18, Seite 1647.
R. Ernst, Experimentelle Beiträge zur Kenntnis der Vorgänge bei der Verbrennung von Kohle in Luft. Journal für praktische Chemie, Neue Folge, Bd. 48 (1893), Seite 31.
E. Blafs, Zur Berechnung der Flammentemperaturen. „Stahl und Eisen", 1892, Seite 893.
H. v. Jüptner, Heizversuche an Kesselfeuerungen. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1894, Seite 525, 546, 562, 572.

III. Die Brennstoffe.

1. Begriff.

Unter der Bezeichnung Brennstoff im weiteren Sinne kann man jeden Körper verstehen, durch dessen Verbrennung nutzbare Wärme geliefert wird. Von diesem Gesichtspunkte aus lassen sich auch Eisen, Mangan, Silizium, Phosphor, Aluminium zu den Brennstoffen des Eisenhüttenbetriebes zählen, denn die von ihnen bei der Verbrennung entwickelte Wärme spielt tatsächlich eine Rolle bei einzelnen Vorgängen der Eisendarstellung, und ohne diese Wärmeentwicklung würden jene Verfahren mitunter unausführbar sein.

In folgendem soll jedoch nur von denjenigen Brennstoffen die Rede sein, welche auch im engeren Sinne diese Bezeichnung verdienen, insofern die Wärmeentwicklung den eigentlichen Zweck ihrer Verwendung bildet.

2. Feste rohe Brennstoffe.

a) Das Holz.

Es besteht aus der eigentlichen Holzmasse, der Cellulose, nach der chemischen Formel $C_6H_{10}O_5$ zusammengesetzt, in welcher jedoch auch stickstoffhaltige Saftbestandteile verteilt sind, aus einer gewissen Menge anorganischer Körper, welche beim Verbrennen als Asche zurückbleiben, und aus Wasser. Die organische Holzmasse (also die Cellulose nebst den Saftbestandteilen ohne den Wassergehalt und die Asche) enthält im Mittel:

Kohlenstoff	50,5	Teile
Wasserstoff	6,2	„
Sauerstoff	42,3	„
Stickstoff	1,0	„
Zusammen	100,0	Teile.

Der Wassergehalt des Holzes ist nicht nur bei verschiedenen Holzarten verschieden, sondern läfst sich auch durch längeres Lagern des gefällten Holzes an der Luft verringern. Frisch gefälltes, älteres Holz enthält in der Regel 30—45 v. H. seines Eigengewichts Wasser, abweichend nach der Holzart[1]; bei jüngeren Bäumen steigt mitunter der Wassergehalt bis auf 60 v. H.

Beim längeren (mindestens zweijährigen) Lagern des gespaltenen Holzes an einem trockenen, aber luftigen Orte vermindert sich allmählich der Wassergehalt bis auf etwa 20, bei einzelnen Holzsorten 17 v. H.; man nennt solches Holz lufttrocken. Eine weitere Austrocknung ist nur durch Erwärmung auf eine Temperatur zwischen 125—150° C. möglich.

Der Aschengehalt des frischen Holzes beträgt im Mittel etwa 1 v. H., zeigt übrigens auch an dem Holze von einem und demselben Baume Abweichungen und ist am stärksten in den Wurzeln und Blättern. Die Asche enthält vorzugsweise kohlensaures Calcium (50—70 v. H.), daneben kohlensaure Alkalien (bis 25 v. H.), Kieselsäure (deren Gehalt zwischen 2—13 v. H. schwanken kann), sowie kleinere Mengen von schwefelsauren und phosphorsauren Salzen. Der Phosphorgehalt beträgt höchstens 2 v. H.

Die Zusammmensetzung des lufttrocknen aschenhaltigen Holzes ist demnach etwa:

Kohlenstoff	39,6	Teile
Wasserstoff	4,8	„
Sauerstoff	33,2	„
Stickstoff	0,8	„
Wasser	20,0	„
Asche	1,6	„
Zusammen	100,0	Teile.

Erhitzt man das Holz stärker als auf 150° C., so tritt Zersetzung ein. Beim Erhitzen unter Luftabschlufs bis zum beginnenden Glühen hinterbleibt ein Entgasungsrückstand (Holzkohle), dessen Gewicht durchschnittlich 25 v. H. des Gewichts des lufttrockenen Holzes beträgt.

[1]) Nadelhölzer sind durchschnittlich wasserreicher als Laubhölzer; unter letzteren besitzt vornehmlich frisches Buchenholz einen ziemlich hohen Wassergehalt (40 v. H.).

Die Wärmeleistung der reinen Holzmasse (ohne Asche und Wasser) beläuft sich auf etwa 3800 W.-E.

Das Holz von den Laubholzbäumen, insbesondere von der Eiche, Buche, Birke, Ulme nennt man hartes, das Holz von den Nadelholzbäumen, insbesondere der Tanne, Fichte, Lärche weiches Holz [1]).

Das Gewicht eines Raummeters lufttrockenen Holzes im aufgeklafterten Zustande (also einschliefslich der Zwischenräume) beträgt:

hartes Holz	350 bis 450 kg
weiches „	250 „ 300 „

und schwankt nach Form und Gröfse der Holzstücke sowie nach dem Betrage des noch vorhandenen Wassergehalts.

Darren des Holzes. Der selbst im lufttrockenen Holze noch ziemlich reiche Wassergehalt verringert nicht allein die Wärmeleistung des Holzes, sondern erniedrigt auch die bei der Verbrennung erreichbare Temperatur (S. 61). Für Arbeiten, zu deren Durchführung eine hohe Temperatur notwendig ist, läfst sich demnach das Holz nur verwenden, wenn man ihm durch eine künstliche Trocknung bei einer Temperatur von etwas über 100° C. die gröfsere Menge des ihm im lufttrockenen Zustande noch gebliebenen Wassers entzieht. Allerdings werden die Kosten des Brennstoffs hierdurch gesteigert.

Man benutzt zum Darren gemauerte Kammern, welche in irgendeiner Weise auf die erforderliche Temperatur erhitzt werden und in welchen das Holz, am zweckmäfsigsten auf leichten eisernen Wagen aufgeschichtet, bis zur beendigten Trocknung belassen wird. Für genügenden Luftwechsel zur Ableitung der sich bildenden Wasserdämpfe mufs gesorgt werden. Mitunter dient erhitzter Gebläsewind zum Trocknen, welcher durch Röhren in die Kammern geführt wird; in anderen Fällen bringt man an einer passenden Stelle der Kammer eine Rostfeuerung an und führt die Verbrennungsgase durch die Kammer selbst hindurch, obgleich hierdurch die Gefahr einer Entzündung des Holzes durch die von den Gasen mitgerissenen Funken nahegelegt wird; oder man legt eine Anzahl eiserner Röhren in die Kammer, durch welche die Verbrennungsgase hindurchziehen, solcherart mittelbar die Kammer erwärmend [2]).

Gedarrtes Holz nimmt jedoch rasch wieder Wasser auf und geht dadurch wieder in den Zustand des lufttrockenen Holzes über, wenn es in gewöhnlicher Temperatur der Einwirkung der Luft preisgegeben wird. Soll daher der Zweck des Darrens erreicht werden, so mufs die Verwendung bald stattfinden, nachdem das Holz die Darrkammer verlassen hat.

Mit der zunehmenden Ausdehnung der Verkehrsmittel hat das Holz als Brennstoff für den Eisenhüttenbetrieb in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts an Bedeutung verloren. Seine Abfuhr auch nach weiteren Entfernungen ist erleichtert, und es ist dadurch im Preise gestiegen; aber auch der Bezug mineralischer,

---

[1]) Auch das Holz der Linde, Weide, Pappel ist weiches Holz, findet aber für den Eisenhüttenbetrieb keine Verwendung.

[2]) Abbildung einer solchen Darrkammer: „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 705.

minder kostspieliger Brennstoffe ist leichter und billiger geworden. Es wird mithin durch diese häufig selbst in solchen Gegenden ersetzt, welche von deren Gewinnungsstätten ziemlich weit entlegen sind. Gröfsere Bedeutung für einzelne Zweige des Eisenhüttenbetriebes besitzt es noch in Schweden, einzelnen Bezirken Rufslands, z. B. am Ural, Ungarns.

b) Der Torf.

Der Torf ist das noch jetzt sich bildende Erzeugnis der Zersetzung gewisser Gattungen von Pflanzen unter dem Einflusse von Luft und Wasser, wobei aus der Pflanzenmasse Sauerstoff austritt und der Kohlenstoffgehalt sich anreichert, zugleich aber eine reichliche Wassermenge aufgenommen wird, während die Vermengung mit schlammigen Massen die Ursache eines häufig bedeutenden Aschengehaltes ist.

Vorzugsweise findet sich Torf in der gemäfsigten Zone, und zwar teils in Tälern, teils auf Hochebenen. Reich an Torf ist Deutschland, sowohl Nord- als Süddeutschland, wo er vereinzelt auch für Zwecke des Eisenhüttenbetriebes Verwendung findet; auch Frankreich, Grofsbritannien, Rufsland, Skandinavien besitzen ausgedehnte Torflager.

Die Gewinnung des Torfes geschieht durch Hand- oder Maschinenarbeit. Bei der ersteren wird der Torf, sofern er die genügende Festigkeit besitzt (unter Umständen nach vorausgegangener Entwässerung des Torfmoores), mit entsprechend geformten Spaten in prismatischen Stücken ausgestochen, um im Freien oder in luftigen Schuppen getrocknet zu werden (Stechtorf); gestattet aber die Eigentümlichkeit der Torfmasse nicht eine Gewinnung in dieser Weise (wegen breiiger, ungleichmäfsiger Beschaffenheit), so gräbt man sie aus, mischt sie in einer Grube durch Treten mit den Füfsen oder Schlagen mit Werkzeugen durcheinander und streicht nun entweder diesen Torfbrei in Formen, um die solcherart gewonnenen prismatischen Stücke (Torfziegel) zu trocknen (Streichtorf, Modeltorf), oder man breitet eine gröfsere Menge davon auf dem geschlichteten Torffelde aus, überläfst ihn hier einige Zeit der Trocknung, dichtet ihn hierauf durch Treten oder Schlagen und schneidet ihn mit langen Messern in einzelne Stücke, welche nunmehr, um vollends lufttrocken zu werden, in Haufen zusammengestellt werden (Backtorf, Breitorf). Die Gewinnungskosten des Streich- und Backtorfes sind um 15—20 v. H. höher als die des Stechtorfes, wogegen jene Sorten sich durch gröfsere Dichtigkeit und Festigkeit vor diesem auszeichnen.

Die zur Gewinnung des Torfes benutzten Maschinen sind ziemlich mannigfacher Art. Während die älteren sich darauf beschränken, den Torf zu stechen und herauszuheben, sind die neueren mit Einrichtungen versehen, um die Fasern des herausgehobenen Torfes mit Messern zu zerschneiden, die Masse — ähnlich wie es bei der Back- und Streichtorfanfertigung durch Handarbeit geschieht — innig durcheinander zu mischen, in einzelnen Fällen auch wohl zu schlämmen, wenn anorganische Beimengungen entfernt werden sollen, und dann entweder unter mäfsigem Drucke in Stücke zu

formen (Prefstorf) oder nach vorausgegangener Beimengung von Wasser auf einem Trockenfelde gleichmäfsig auszubreiten, so dafs dann später, wie bei der Handarbeit, die einzelnen Stücke daraus geschnitten werden (Maschinenbacktorf). Hinsichtlich der Einrichtung dieser verschiedenen Maschinen mufs auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden.

Vor dem Handtorfe zeichnet sich der mit Maschinen gewonnene Torf (auch Kunsttorf genannt) durch gröfsere Gleichmäfsigkeit und Festigkeit aus, welche letztere die Beförderung auf gröfsere Entfernungen ohne Gefahr für starke Verluste ermöglicht; vor dem gewöhnlichen Streichtorfe besitzt der Prefstorf den Vorzug einer gröfseren Dichtigkeit (wodurch nicht nur ebenfalls die Beförderung erleichtert, sondern auch die Verbrennung der gleichen Menge Torf auf einen kleineren Raum beschränkt wird) und einer verringerten Fähigkeit, Feuchtigkeit aufzunehmen.

Die Zusammensetzung der reinen Torfmasse (ohne Wasser und Asche) ist nach dem verschiedenen Alter des Torfes verschieden, beträgt jedoch im Mittel:

Kohlenstoff	60	Teile
Wasserstoff	6	„
Sauerstoff und Stickstoff	34	„

Ein Umstand, welcher sich der Verwendung des Torfes in solchen Fällen, wo es sich um Hervorbringung hoher Temperaturen handelt, hemmend entgegenstellt, ist sein beträchtlicher Wassergehalt und sein oft sehr ansehnlicher Aschengehalt.

Der Wassergehalt des frischen (nicht getrockneten) Torfes beträgt etwa 80 v. H.; an der Luft gut getrockneter Torf enthält gewöhnlich noch 25 v. H. Wasser; durch Trocknen bei 100° C. läfst sich allerdings auch dieses Wasser bis auf kleine Mengen austreiben, der gedarrte Torf aber nimmt, sobald er der Luft ausgesetzt ist, rasch wieder die vorige Menge Wasser auf, welche Eigenschaft er mit dem gedarrten Holze teilt. Bei Erhitzung über 120° C. beginnt bereits die Zersetzung.

Der Aschengehalt des Torfes beträgt in einzelnen seltenen Fällen nur 0,5 v. H., und man nennt diejenigen Torfe, deren Aschengehalt unter 5 v. H. bleibt, aschenarme; häufiger sind diejenigen mit 5—10 v. H. Asche (mittlerer Aschengehalt), und nicht selten kommt ein Aschengehalt bis 20 v. H. und darüber vor (aschenreiche Torfe). Steigt jedoch der Gehalt über 25 v. H., so ist der Torf als Brennstoff ziemlich wertlos.

Die Asche besteht gewöhnlich zum gröfsten Teile aus Kieselsäure, Eisenoxyd, Tonerde und Kalk mit kleineren Mengen Alkalien, Magnesia, Phosphorsäure. Der Phosphorsäuregehalt geht selten über 2 v. H. des Aschengewichtes hinaus und ist häufig geringer.

Der Entgasungsrückstand beim Erhitzen lufttrockenen Torfs beträgt durchschnittlich 35 v. H. des Gewichts der Torfmasse (ohne Asche).

Als mittlere Wärmeleistung der reinen Torfmasse kann man 5300 W.-E. annehmen, während gewöhnlicher lufttrockener Torf mit mittlerem Aschengehalte höchstens 3500 W.-E. zu liefern

imstande ist. Nach Versuchen von Brix verdampft 1 kg Torf mit 8—10 v. H. Asche und 25 v. H. Wasser bei der Heizung eines Dampfkessels etwa 1,2 mal so viel Wasser als Holz; nimmt man also die Wärmeleistung dieses letzteren zu 2900 W.-E. an, so würde die Wärmeleistung des Torfes etwa 3500 W.-E. betragen.

Um den Torf auch für solche Zwecke verwendbar zu machen, wo eine höhere Verbrennungstemperatur erforderlich ist, unterwirft man ihn zur Austreibung seines Wassergehaltes einem Trocknungsverfahren (Darren) bei etwa 100° C. in ähnlichen Darrkammern, wie für das Trocknen des Holzes. Einige nähere Angaben hierüber findet der Leser in den unter „Literatur“ aufgeführten Werken von Hausding und Birnbaum.

Dafs der gedarrte Torf rasch, d. h. noch warm, verbraucht werden mufs, wenn er nicht wieder Wasser anziehen soll, dafs also die Darrvorrichtungen auch unmittelbar neben dem Verwendungsorte sich befinden müssen, wurde schon erwähnt.

c) Die Braunkohle.

Aus den Pflanzenresten der Tertiärzeit bestehend bildet die Braunkohle den jüngsten der eigentlichen mineralischen Brennstoffe. Sie zerfällt ihrem Äufseren wie ihrer chemischen Zusammensetzung nach in verschiedene Unterabteilungen.

Lignit oder fossiles Holz.

Diese Braunkohlenart zeigt noch das Gefüge des Holzes, aus dem sie entstanden ist; es waren Baumstämme, durch die eingetretene Zersetzung gebräunt und durch die auf ihnen lastenden Schichten teilweise zerdrückt.

Die chemische Zusammensetzung der eigentlichen Braunkohlenmasse der Lignite schwankt innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	57—67,	durchschnittlich	61,5 Teile,
Wasserstoff	6— 5,	„	5,5 „
Sauerstoff und Stickstoff .	37—28,	„	33,0 „

Die kohlenstoffärmsten, wasserstoff- und sauerstoffreichsten Lignite sind die am wenigsten zersetzten.

Ein grofser Übelstand dieser Braunkohlenart ist ihr beträchtlicher Wassergehalt, welcher bei der frisch geförderten Kohle kaum unter 30 v. H., mitunter bis zu 50 v. H. beträgt und den Brennwert abmindert. Nun läfst sich allerdings ein grofser Teil dieses Wassergehaltes durch Lagern der Kohle an der Luft entfernen; hierbei aber entsteht häufig ein anderer Nachteil: die Kohle zerfällt beim Trocknen zu Pulver und eignet sich in dieser Form für manche Zwecke weniger gut als in gröfseren Stücken.

Der Aschengehalt ist in allen Fällen bedeutender als der des frischen Holzes und beträgt mindestens 4 v. H., steigt aber in einzelnen Fällen bis zu 15 v. H. und darüber.

Als Entgasungsrückstand hinterbleiben beim Erhitzen im Mittel 40 v. H. des Gewichts der reinen Kohlenmasse.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt durch-

schnittlich 5500 W.-E., während die wirklichen Kohlen wegen ihres Wasser- und Aschengehaltes kaum mehr als 3400 W.-E. zu entwickeln fähig sind.

1 cbm Lignite wiegt 550—750 kg, je nachdem der Wasser- und Aschengehalt kleiner oder gröfser ist.

Erdige Braunkohle, Moorkohle.

Weiche, zerreibliche Masse, aus der Zersetzung niedriger Pflanzen (wie der Torf) hervorgegangen. Wie die Lignite ist diese Kohle reich an Wasser, mitunter auch reich an Asche, und sie steht in ihrem chemischen Verhalten jenen nahe. Wegen ihres dichten, erdigen Zustandes besitzt sie für Zwecke des Eisenhüttenbetriebes nur geringe Bedeutung.

Ältere Braunkohle.

Im Äufseren unterscheidet sich diese von den vorstehend besprochenen Sorten durch ihre gröfsere Festigkeit und Härte, ihren muscheligen Bruch, ihre gröfsere Beständigkeit an der Luft. In chemischer Beziehung zeichnet sie sich durch einen gröfseren Kohlenstoffgehalt und geringeren Wassergehalt aus, und ihr Brennwert ist demnach entsprechend höher. Ihre Farbe ist braun bis schwarz, der Strich braun. Eine seltener vorkommende Abart dieser Braunkohlen, ausgezeichnet durch besonders hohen Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt bei geringem Sauerstoffgehalte, durch leichte Entzündbarkeit und lange rauchende Flamme, wird bituminöse Braunkohle, fette Braunkohle, Schweelkohle genannt.

Die reine Kohlenmasse dieser Braunkohlenarten enthält:

Kohlenstoff	65—75,	durchschnittlich	69,5	Teile,
Wasserstoff	6— 4,	„	5,5	„
Sauerstoff und Stickstoff .	29—21,	„	25,0	„

Der Wassergehalt geht selten über 10 v. H. hinaus.

Der Aschengehalt beträgt mindestens 3 v. H., steigt aber in einzelnen Fällen bis auf das Zehnfache dieser Menge. Häufige Beimengungen sind Schwefel und Schwefelkies; Phosphate dagegen finden sich in der Asche selten in erheblichen Mengen.

Als Entgasungsrückstand beim Erhitzen hinterbleiben durchschnittlich 45 v. H. des Gewichts der reinen und trockenen Braunkohle.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt — abweichend nach der chemischen Zusammensetzung — 7000 bis 8000 W.-E.; diejenige der wirklichen Kohlen (wasser- und aschenhaltig) im Mittel 5500 W.-E.

1 cbm ältere Braunkohlen in mittelgrofsen Stücken wiegt im Mittel 700 kg.

Auf zahlreichen Eisenwerken bildet diese Gattung der Braunkohlen einen geschätzten Brennstoff für verschiedene Zwecke. Böhmische Braunkohle, am südlichen Abhange des Erzgebirges zwischen diesem und dem böhmischen Mittelgebirge auftretend, wird nicht nur auf böhmischen, sondern auch auf manchen deutschen, insbesondere sächsischen Werken in bedeutenden Mengen verwendet;

steirische Braunkohle, in der Nähe von Leoben, Köflach und einigen anderen Orten gewonnen, ist von hervorragender Bedeutung für die alpinen in dortiger Gegend gelegenen Werke.

d) Die Steinkohlen und der Anthracit.

Allgemeines.

Diese nicht allein für die Metallgewinnung, sondern für die gesamte Gewerbtätigkeit wichtigsten Brennstoffe treten in den oberen primären und unteren sekundären Erdformationen, vorwiegend aber in der nach ihnen benannten Steinkohlenformation in Flötzen auf, die sich zum Teil über weite Strecken ausdehnen und nicht selten mehr als 15 m Mächtigkeit erreichen.

Von den ihnen an Alter nachstehenden Braunkohlen unterscheiden sie sich äufserlich durch ihre schwarze Farbe (nur wenige Braunkohlenarten besitzen ebenfalls eine so dunkle Farbe), schwarzes Strichpulver, gröfseres spezifisches Gewicht, beim Erhitzen durch einen gröfseren Entgasungsrückstand. Das Gefüge des Holzes, aus dem auch die Steinkohlen ursprünglich entstanden, ist nicht mehr erkennbar.

Unter sich aber zerfallen die Steinkohlen wieder in eine Reihe verschiedener Arten, welche erhebliche Unterschiede aufweisen. Im allgemeinen ist durch die chemische Zusammensetzung einer Steinkohle auch ihr Verhalten bedingt; Ausnahmen kommen jedoch vor. Auch der Entgasungsrückstand ist bei zwei Steinkohlenarten von gleicher chemischer Zusammensetzung nicht immer gleich, ein Beweis, dafs die molekulare Anordnung der Bestandteile verschieden sein kann.

Eine eigentümliche und für viele Verwendungen wichtige Eigenschaft zeigen einzelne Steinkohlenarten: sie nehmen beim Erhitzen eine klebrige, teigartige Beschaffenheit an, sie *backen*. Sowohl denjenigen Arten, welche den Braunkohlen nahestehen, als auch den anthracitartigen fehlt diese Eigenschaft, welche für die Verwendbarkeit zu gewissen Zwecken, ganz besonders für die Verkokung der betreffenden Kohlen von Bedeutung ist. Gut backende Kohlen nennt man *Fettkohlen*, nicht backende *magere* oder *trockene* Kohlen. Behalten die mageren Kohlen die grofsen Stücken beim Erhitzen ihre Form bei, ohne zu zerspringen, so heifsen sie *Sinterkohlen*, zerfallen sie zu kleinen Stücken, so werden sie *Sandkohlen* genannt.

Die *reine Brennstoffmasse* der Steinkohlen enthält:

Kohlenstoff	75—95 v. H.
Wasserstoff	5,5—2 „ „
Sauerstoff und Stickstoff .	19,5—3 „ „

Der *Feuchtigkeitsgehalt* der Steinkohlen ist geringer als der aller übrigen natürlichen Brennstoffe und geht selten über 5 v. H. hinaus.

Der *Aschengehalt* beträgt bei den besseren Kohlen 0,5 bis 7 v. H. (selten weniger als 4 v. H.), bei mittleren 7—14 v. H., bei aschenreicheren noch mehr. Die Asche besteht aus Kieselsäure in Mengen von durchschnittlich 45 v. H., Eisenoxyd und Tonerde mit-

unter bis 45 v. H., kleineren Mengen Kalkerde, Phosphorsäure (bis zu 3 v. H.) und Schwefelsäure, zum Teile aus der Zersetzung von Schwefelmetallen bei der Verbrennung hervorgegangen und an Kalk gebunden. Der Gehalt an Alkalien beträgt selten über 3 v. H., in der Regel weniger. Hinderlich für die Verwendung mancher Steinkohlen ist ihr beträchtlicher Schwefelgehalt, teils von eingelagerten Schwefelmetallen (Schwefelkies, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz u. a.) herrührend, teils einen Bestandteil der Kohlenmasse selbst bildend [1]). Der Schwefelgehalt beträgt mitunter 3 v. H., nicht selten 2. v. H. des Steinkohlengewichtes. Bei der Erhitzung der Kohlen zum Zwecke der Verkokung geht der Schwefel zum Teil mit den Gasen davon, ein anderer Teil hinterbleibt im Entgasungsrückstande.

Der Entgasungsrückstand wächst im allgemeinen mit dem Kohlenstoffgehalte und schwankt zwischen 50—92 v. H. der reinen Kohlenmasse.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beziffert sich auf 8000—9500 W.-E.

Das Gewicht von 1 cbm Steinkohlen beträgt 700—900 kg, abweichend nach der Zusammensetzung und Stückgröfse. Die kohlenstoffreicheren Kohlen sind die schwereren; grofsstückige Kohlen wiegen eingemessen mehr als kleinstückige [2]).

Für die Einteilung der Steinkohlen sind im Laufe der Jahre verschiedene Vorschläge gemacht worden. In folgendem ist eine von Gruner aufgestellte Einteilung benutzt, welche unter allen die übersichtlichste sein dürfte. Dafs Fälle auftreten können, wo die physikalischen Eigenschaften der Kohle nicht so, wie es nach Gruners Einteilung der Fall sein müfste, mit der chemischen Zusammensetzung übereinstimmen, wurde schon erwähnt.

Langflammige (gasreiche) Sand- und Sinterkohlen; trockene Kohlen.

Sie verbrennen mit langer, auf den grofsen Gehalt an flüchtigen brennbaren Körpern deutender Flamme, hinterlassen bei der Entgasung einen verhältnismäfsig geringen Rückstand, welcher bei den Sinterkohlen die äufsere Form der Kohle beibehält, ohne zu backen, bei den Sandkohlen zerfällt.

Die chemische Zusammensetzung der reinen Kohlenmasse bewegt sich gewöhnlich innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	75 —80,	durchschnittlich	77,5	Teile
Wasserstoff	5,5— 4,5,	"	5,5	"
Sauerstoff und Stickstoff	19,5—15,5,	"	17,0	"

Der Entgasungsrückstand beträgt 50—60 v. H. des Gewichts der reinen Kohlenmasse, die Menge der flüchtigen Erzeugnisse 50—40 v. H.

---

[1]) Den Schwefel in lezterer Form hat man als organischen Schwefel bezeichnet. Vergleiche die unter Literatur genannte Abhandlung von Dr. Muck über den Schwefelgehalt der Steinkohlen.

[2]) Die gleiche Wahrnehmung läfst sich bei allen eingeschütteten festen Körpern machen.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beläuft sich auf 8000—8500 W.-E.

In Deutschland finden sich diese Kohlen oder Übergänge zu der nächsten Gattung in den oberen Schichten der Kohlenbecken Oberschlesiens, in geringeren Mengen bei Saarbrücken; Grofsbritannien besitzt wichtige Vorkommnisse in Schottland, ferner in Derbyshire, Staffordshire u. a. O.

Man benutzt diese Kohlen vorwiegend zur Flammenfeuerung sowohl unmittelbar durch Verbrennung auf dem Roste als nach voraufgegangener Vergasung; die in Schottland auftretenden Kohlen finden auch für den Hochofenbetrieb Verwendung und zwar im rohen Zustande, da sie die Verkokung nicht ertragen.

Eine vorzugsweise in sächsischen Steinkohlenflötzen auftretende Abart dieser Kohlengattung ist die Rufskohle, durch ihre tiefschwarze Farbe, ihre Zerreiblichkeit, faserige Beschaffenheit und ihren geringen Gehalt an Wasserstoff gekennzeichnet, welcher oft weniger als 3 v. H. beträgt, während der Kohlenstoffgehalt entsprechend höher ist (76—82 v. H.).

Langflammige (gasreiche) Backkohlen; backende Gaskohlen.

Sie brennen wie die vorigen Kohlen mit langer und rauchender Flamme; beim Erhitzen aber verändern die Stücke ihre Form, sie erweichen, backen aneinander, und eine gröfsere Zahl kleinerer Stücke vereinigt sich zu einem Ganzen.

Die chemische Zusammensetzung der reinen Kohlenmasse dieser Kohlen beträgt:

Kohlenstoff	80 —85,	durchschnittlich	82,0	Teile
Wasserstoff	5,8— 5,	„	5,5	„
Sauerstoff und Stickstoff .	14,2—10,	„	12,5	„

der Entgasungsrückstand 60—68 v. H. der reinen Kohlenmasse, die Menge der entweichenden flüchtigen Körper 40—32 v. H. Die erfolgende Gasmenge ist geringer als bei den langflammigen Sandkohlen, aber die Leuchtkraft des erfolgenden Gases ist bedeutender, und diese Kohlen bilden deshalb den vornehmsten Rohstoff zur Leuchtgaserzeugung, wobei die Kohle durch Erhitzen in Retorten zersetzt und das entweichende Gas, nachdem es verschiedene Reinigungsvorrichtungen zum Zurückhalten des Teers, Wassers, Kohlenoxyds und der Schwefelverbindungen durchströmt hat, im Gasbehälter aufgesammelt wird, während ein poriger Koks in den Retorten zurückbleibt.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt 8500 bis 8800 W.-E.

Diese Kohlengattung kommt innerhalb Deutschlands vorzugsweise in Oberschlesien, in Westfalen und bei Saarbrücken vor; sie ist ferner in Frankreich ziemlich häufig (Kohlenbecken von Pas-de-Calais und Loire), wird in Belgien im Becken von Mons gewonnen, in Grofsbritannien bei Newcastle und in Schottland. Man benutzt sie, wie erwähnt, zur Leuchtgasbereitung, die weniger gut backenden, den Sinterkohlen nahestehenden auch zur Verbrennung auf dem Roste und zur Heizgaserzeugung.

Gewöhnliche Backkohlen.

Sie sind etwas schwieriger entzündlich, als die beiden vorstehend besprochenen Arten, und brennen mit nicht ganz so langer, aber weniger rauchenden Flamme. Beim Erhitzen verhalten sie sich den langflammigen Backkohlen ähnlich, nur tritt bei ihnen die Eigentümlichkeit aller Backkohlen in noch stärkerem Mafse zutage: sie schmelzen wie Harz und blähen sich dabei infolge der Gasentwicklung stark auf. Diese starke Backfähigkeit macht diese Kohlen gut geeignet für den Betrieb von Schmiedefeuern, wobei kleinstückige Kohlen dieser Art (unter der Benennung Schmiedekohlen in den Handel gebracht) oberhalb des zu erhitzenden Eisenstückes aufgeschüttet werden, hier alsbald zusammenbacken und solcherart eine zusammenhängende Decke bilden. Von Zeit zu Zeit stöfst der Schmied die Decke ein, schüttet von oben her frische Kohlen nach und bewirkt auf diese Weise, dafs nur glühende und bereits entschwefelte Kohlen mit dem Eisen in unmittelbare Berührung treten.

Die Zusammensetzung der reinen Kohlenmasse dieser Kohlen bewegt sich gewöhnlich innerhalb folgender Grenzen:

Kohlenstoff	84—89,	durchschnittlich	86,5	Teile
Wasserstoff	5— 5,5	"	5,0	"
Sauerstoff und Stickstoff	11— 5,5	"	8,5	"

Der Entgasungsrückstand beträgt 68—74 v. H., während 32—26 v. H. flüchtige Körper entweichen.

Die Wärmeleistung der reinen Kohlenmasse beträgt 8800 bis 9300 W.-E.

Die in Rede stehenden Backkohlen bilden wichtige Vorkommnisse am Niederrhein und in Westfalen (z. B. bei Essen und Bochum), in Belgien, Frankreich, England. Man benutzt sie, wie erwähnt, für Schmiedefeuer, aufserdem für Leuchtgasdarstellung und für die Verkokung, im letzterem Falle jedoch, wenn möglich, in Vermischung mit Kohlen der nachfolgend besprochenen Arten. Weniger gut geeignet sind sie wegen ihrer grofsen Backfähigkeit zur Verbrennung auf dem Roste.

Kurzflammige (gasarme) Backkohlen; Kokskohlen.

Zerreiblich, schwerer verbrennlich als die bisher besprochenen; mit kurzer, leuchtender, wenig rauchender Flamme verbrennend. Bei starker Erhitzung blähen sich diese Kohlen zwar noch auf und backen zusammen, aber ihre Backfähigkeit ist geringer als die der eigentlichen Backkohlen. Sie bedürfen dazu einer höheren Temperatur, und da bei ihrer Zersetzung weniger Gase entweichen, hinterlassen sie einen dichteren Rückstand. Je mehr sie sich in ihrer Beschaffenheit der folgenden Gattung nähern, desto schwieriger backen sie, desto stärkere Erhitzung ist dazu notwendig. Auch wenn sie längere Zeit hindurch an der Luft lagern, nimmt ihre Backfähigkeit ab; es findet hierbei eine teilweise Zersetzung statt, welche eine Verflüchtigung derjenigen Bestandteile bewirkt, auf denen die Backfähigkeit beruht.

Die chemische Zusammensetzung der reinen Kohlenmasse beträgt:

Kohlenstoff	88 —91,	durchschnittlich 89,5	Teile
Wasserstoff	5,5— 3,5	„ 4,5	„
Sauerstoff und Stickstoff	6,5— 4,5	„ 6,0	„

der Entgasungsrückstand 74—82 v. H., die Menge der verflüchtigten Bestandteile 26—18 v. H.

Unter allen Kohlenarten besitzen die kurzflammigen Backkohlen die gröfste Wärmeleistung, nämlich 9300—9600 W.-E.

Die hauptsächlichsten Gewinnungsbezirke dieser Kohlen sind in Deutschland Westfalen und der Niederrhein, in Frankreich die Gegend bei Creusot, St. Etienne, Gard, in Belgien bei Charleroy, in Grofsbritannien Südwales, besonders die Gegend bei Cardiff. Sie finden vorwiegend zur Koksbereitung Verwendung, auch durch Verbrennung auf dem Roste als Dampfkessel- und Hausbrandkohlen, wozu sie wegen der geringeren Rufsbildung gut befähigt sind.

Anthracitische Kohlen (gasarme) Sinterkohlen und Anthracite.

Diese Kohlen besitzen gewöhnlich geringe Festigkeit, sind schwer entzündlich und verbrennen mit kurzer, fast rauchloser Flamme, welche bald erlischt.

Beim Erhitzen der Kohlen, welche der vorigen Gruppe näher stehen (Sinterkohlen), hinterbleibt ein noch zusammenhängender Rückstand; die kohlenstoffreicheren Kohlen und Anthracite backen so wenig wie die zuerst besprochenen langflammigen Sandkohlen und besitzen starke Neigung, in kleine Stücke zu zerfallen.

Die Zusammensetzung der reinen Kohlenmasse ist ungefähr folgende:

Kohlenstoff	90 —95,	durchschnittlich 92,0	Teile
Wasserstoff	4,5— 2,	„ 3,0	„
Sauerstoff und Stickstoff .	5,5— 3,	„ 5,0	„

Entgasungsrückstand 82—92 v. H. der reinen Kohlenmasse, die Menge der verflüchtigten Bestandteile 18—8 v. H.

Die Wärmeleistung schwankt zwischen 9200—9500 W.-E. der reinen Kohlenmasse.

Diese Kohlen gehören in Europa zu den weniger häufigen Vorkommnissen. In Deutschland finden sie sich bei Aachen und an einigen Stellen des Ruhrbeckens, in Frankreich am nördlichen Rande des Beckens von Valenciennes und einigen anderen Orten, in Belgien bei Charleroy, in England bei Merthyr Tydwill, ferner in Südrufsland. Man benutzt sie hier zum Teile zum Betriebe von Eisenhochöfen, obgleich ihre Neigung, zu zerfallen, diese Benutzung erschwert; mehr noch zur Dampfkessel- und Hausfeuerung, wozu sie wegen ihrer fast rauchfreien Verbrennung sich gut eignen. Wichtiger sind die Vorkommnisse Nordamerikas (Pennsylvaniens), wo diese Kohlen einen Flächenraum von ungefähr 120000 ha bedecken und in reichen Mengen gewonnen werden. Der ziemlich geringe Aschengehalt und unbedeutende Feuchtigkeitsgehalt der

dortigen Anthracite[1] stellt sie hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung den besseren Kokssorten zur Seite, so dafs sie häufiger noch als in den europäischen Bezirken für den Hochofenbetrieb Verwendung finden. Für die Verkokung sind diese Kohlen nur als Zusatz zu leicht backenden Kohlen benutzbar.

e) Rückblicke auf die Arten der festen rohen Brennstoffe.

Um den Vergleich des Verhaltens der verschiedenen rohen Brennstoffe zu erleichtern, sind ihre wichtigsten Eigenschaften in nachfolgender Zusammenstellung nochmals aufgeführt.

	Chemische Zusammensetzung der reinen Brennstoffmasse				der reinen Brennstoffmasse				Gewöhnlicher Feuchtigkeitsgehalt im lufttrockenen Zustande	Gewöhnlicher Aschengehalt
	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Entgasungsrückstand	Flüchtige Entgasungserzeugnisse	Nutzbarer Wasserstoff	Wärmeleistung		
	%	%	%	%	%	%	%	W.-E.	%	%
Holz	50,5	6,2	42,3	1,0	25,0	75,0	0,91	3800	20	2
Torf	60,0	6,0	32,0	2,0	35,0	65,0	2,00	5300	25—30	5—20
Jüngere Braunkohle, Lignit	61,5	5,5	33,0 (Sauerstoff und Stickstoff)		40,0	60,0	1,37	5500	25—40	5—15
Ältere Braunkohle	69,5	5,6	25,0		45,0	55,0	2,37	7500	5—10	3—15
Steinkohlen:										
a) Langflammige, nicht backende Kohle	77,5	5,5	17,0		55,0	45,0	3,38	8200		
b) Langflammige Backkohlen (Gaskohlen)	82,0	5,5	12,5		65,0	35,0	3,94	8600		
c) Gewöhnliche Backkohlen	86,5	5,0	8,5		70,0	30,0	3,94	9000	2—4	2—15
d) Kurzflammige Backkohlen (Kokskohlen)	89,5	4,5	6,0		78,0	22,0	3,75	9400		
e) Anthracitische Kohlen	92,0	3,0	5,0		85,0	15,0	2,37	9200		
Anthracite	94,0	2,0	4,0		92,0	8,0	1,50	9200		

Die Brennstoffe bilden demnach eine Reihe, in welcher der Sauerstoffgehalt von dem ersten Gliede, dem Holze, an bis zu dem letzten Gliede, den Anthraciten, stetig abnimmt, während der Kohlenstoffgehalt in gleichem Mafse wächst. Mit dem letzteren steigt der beim Erhitzen hinterbleibende Entgasungsrückstand, während die Menge der entweichenden flüchtigen Körper sich verringert. Auch die Zusammensetzung der letzteren ist verschieden. Von dem gesamten Wasserstoffgehalte des Brennstoffs geht mit dem vor-

[1] Nach Wedding (Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten, Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preufsischen Staate Bd. 24) enthalten die Anthracite Pennsylvaniens durchschnittlich:

Kohle	Flüchtige Bestandt.	Asche	Schwefel	Phosphor	Feuchtigkeit
82,50	5,50	10,50	0,85	0,012	1,15

die besten dagegen nur 5,8 v. H. Asche bei 89,0 v. H. Kohlenstoff.

handenen Sauerstoffe eine entsprechende Menge als Wasserdampf in die flüchtigen Entgasungserzeugnisse ein, deren brennbare Bestandteile verdünnend und die Verbrennungstemperatur erniedrigend. Nur der Rest des Wasserstoffs, welcher teils als freier Wasserstoff, teils in Vereinigung mit Kohle als Kohlenwasserstoff bei der Zersetzung des Brennstoffs entweicht, bleibt für die Wärmeentwicklung bei Verbrennung der flüchtigen Entgasungserzeugnisse verfügbar. Annähernd läfst sich die Menge dieses nutzbaren Wasserstoffs aus dem Sauerstoffgehalte des Brennstoffs berechnen, da sich zwei Gewichtsteile Wasserstoff mit 16 Gewichtsteilen Sauerstoff vereinigen; die Ergebnisse einer solchen Berechnung sind in der oben gegebenen Zusammenstellung enthalten[1]). Am reichsten an nutzbarem Wasserstoff sind die langflammigen und gewöhnlichen Backkohlen; am ärmsten ist das Holz. Dafs die Flamme bei Verbrennung der erstgenannten Brennstoffe (und auch der aus ihnen bei der Erhitzung entweichenden Gase) sich durch gröfsere Länge auszeichnet, findet eben in der Entwicklung einer gröfseren Menge verhältnismäfsig schwer verbrennbarer Kohlenwasserstoffe ausreichende Erklärung. Bei der Beurteilung der Benutzbarkeit der Brennstoffe sowohl für die Heizung durch unmittelbare Verbrennung als für die Leuchtgas- und Brenngasberereitung ist die Menge jenes nutzbaren Wasserstoffs bedeutungsvoller als der Gesamtgehalt an Wasserstoff.

Die Wärmeleistung der reinen Brennstoffmasse nimmt vom Holze an bis zu den kurzflammigen Backkohlen zu und verringert sich wieder etwas bei den anthracitartigen Kohlen und Anthraciten.

3. Durch Verkohlung gewonnene Brennstoffe und ihre Darstellung.

a) Allgemeines.

Wenn man die in vorstehendem besprochenen rohen Brennstoffe bei Luftabschlufs erhitzt, so beginnt bei einer Temperatur von ungefähr 150° die Zersetzung unter Entweichen flüchtiger Körper, bestehend aus Wasserdampf, Kohlenwasserstoffen von verschiedener Zusammensetzung, Kohlenoxyd, Ammoniak u. a. m. Der Verlauf der Zersetzung ist, wie erwähnt, zum Teile von der Temperatur abhängig; in jedem Falle aber hinterbleibt, wenn die Erhitzung unter Luftabschlufs bis zum starken Glühen fortgesetzt wird, neben den Aschenbestandteilen fast reine Kohle[2]).

Da die entweichenden Gase eine reichliche Menge brennbarer Körper enthalten, bedeutet jene Zersetzung unleugbar einen Ver-

---

[1]) Ganz genau ist die Rechnung nicht, weil ein Teil des Sauerstoffgehalts auch Kohlenoxyd bildet, während ein Teil des anwesenden Wasserstoffs zur Ammoniakbildung verbraucht wird. Aufserdem ist der Verlauf der Zersetzung in jedem einzelnen Falle von der herrschenden Temperatur und von der molekularen Anordnung der Bestandteile im Brennstoffe abhängig. Zwei Steinkohlen von gleicher Zusammensetzung können, wie schon erwähnt wurde, abweichend zusammengesetzte Entgasungserzeugnisse liefern.

[2]) Kleine Mengen Wasserstoff und Stickstoff können auch in den stark geglühten Kohlen zurückbleiben.

lust an Brennstoff, wenn man die Gase, wie es bei einigen Verfahren geschieht, abziehen läfst, ohne ihre Brennkraft auszunutzen.

Dennoch bildet die Verkohlung ein wichtiges Verfahren zur Erlangung eines Brennstoffes, welcher ohne Flamme verbrennt und deshalb für manche Verfahren geeigneter ist als der rohe Brennstoff, aus welchem er dargestellt wurde. Denn jene Zersetzung der rohen Brennstoffe beim Erhitzen verursacht einen Wärmeverbrauch, welcher bisweilen störend für die Durchführung eines Verfahrens sein kann; liegt der Brennstoff in hoher Schicht aufeinander und wird durch Luft, welche von unten zugeführt wird, verbrannt (in Schachtöfen), so erschweren die im oberen Teile der Schicht aus der Zersetzung hervorgehenden Gase das Aufsteigen der unten gebildeten Verbrennungsgase; der rohe Brennstoff aber verändert bei der Zersetzung oft erheblich seine Form, wodurch ebenfalls seine Verwendung erschwert werden kann. Backende Steinkohlen z. B. würden für zahlreiche Verwendungen ganz ungeeignet sein, für welche die aus ihnen durch Verkohlung gewonnenen Koks gerade den geeignetsten Brennstoff bilden. Endlich kommt auch in Betracht, dafs manche rohen Brennstoffe, zumal die sauerstoffreicheren, eine weniger hohe Verbrennungstemperatur entwickeln als die aus ihnen durch Entgasung gewonnenen Kohlen, und dafs aus diesem Grunde letztere für manche Zwecke geeigneter sind als erstere.

Nicht alle besprochenen rohen Brennstoffe jedoch liefern bei der Erhitzung einen für Heizzwecke brauchbaren Rückstand. Wenn die verkohlten Brennstoffe ihren Zweck erfüllen sollen, ist es in Rücksicht auf die Eigentümlichkeiten unserer Feuerungseinrichtungen notwendig, dafs sie nicht allzu kleinstückig sind. Pulverförmige Brennstoffe sind nur in seltenen Fällen brauchbar, und bei den meisten Verwendungen der verkohlten Brennstoffe steigt ihr Wert mit ihrer Stückgröfse.

Während daher Holz und Torf sich gut für die Verkohlung eignen, sind alle Braunkohlen davon ausgeschlossen, weil sie beim Erhitzen in kleine Stücke zerfallen. Zahlreiche Versuche sind gemacht worden, ein für Verkohlung von Braunkohlen geeignetes Verfahren zu finden, ohne jedoch befriedigende Erfolge zu liefern[1]). Unter den Steinkohlen verhalten sich die den Braunkohlen am nächsten stehenden, die langflammigen trockenen Kohlen, auch bei der Verkohlung diesen ähnlich; manche von ihnen, die langflammigen Sinterkohlen, ertragen jedoch, ohne zu zerfallen, eine mäfsige Verkohlung, d. h. eine Austreibung des gröfsten Teils ihrer flüchtigen Bestandteile, sofern die Erhitzung nicht zu rasch vonstatten geht und nicht ein zu hohes Mafs erreicht. Gut verkohlungsfähig sind alle backenden Steinkohlen; Anthracite und die ihnen nahe stehenden Steinkohlen dagegen sind, da auch sie die Neigung besitzen, beim Erhitzen zu zerfallen, gar nicht oder nur schwierig verkohlungsfähig. Da indes ihr Gehalt an flüchtigen Körpern überhaupt nur gering ist, besitzt bei ihnen die Verkohlung an und für sich wenig Bedeutung.

---

[1]) Näheres hierüber in der am Schlusse des Abschnitts gegebenen Literatur.

b) Die Verkohlung des Holzes und die Holzkohle.

Für die Darstellung der Holzkohle im grofsen gibt es drei verschiedene Verfahren.

Verkohlung in Meilern.

Dieses Verfahren ist das älteste und auch jetzt noch üblichste für Holzkohlendarstellung. Ein Meiler ist ein nach bestimmten Regeln aufgestellter Holzhaufen, welcher im Innern entzündet wird, ringsum aber durch eine Decke aus Rasen oder dergleichen eingehüllt ist, so dafs die Verbrennung, deren Verlauf durch Luftlöcher in der Decke geregelt werden kann, immerhin beschränkt bleibt und nur so weit ausgedehnt wird, als für die zur Zersetzung des Holzes notwendige Wärmeentwicklung notwendig ist.

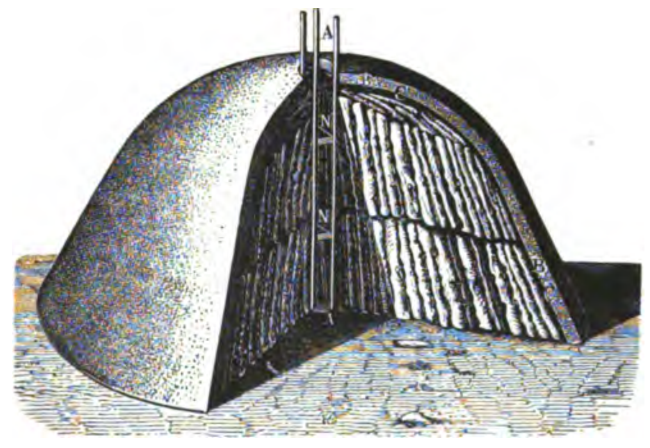


Abb. 4.

Abb. 4 stellt die üblichste Form eines für Holzkohlengewinnung bestimmten Meilers dar. Zu seiner Herstellung wird zunächst der Boden der Meilerstätte geebnet und festgestampft, sofern nicht von früheren Verkohlungen her noch eine Stätte verfügbar ist (alte Meilerstätten eignen sich besser als neue, da letztere leicht Veranlassung zu ungleichmäfsigem Zuge geben). In der Mitte der Stätte werden dann zunächst zwei oder drei Quandelpfähle *A* aufgestellt, die man durch Spreizen *N* auseinander hält und durch Weidenruten aneinander befestigt. Den Raum zwischen den Quandelpfählen füllt man mit trockenem Reisig oder dergleichen aus; an ihrem Fufse werden ringsherum einzelne trockene Brettchen auf die hohe Kante gestellt, um das Anzünden zu erleichtern, und beim Aufbauen (Richten) des Meilers legt man von hier aus am Boden der Stätte nach dem Umfange zu ein starkes Holz ein, welches später herausgezogen wird und hierbei einen von aufsen nach innen führenden Kanal, die Zündgasse, offen läfst, durch welche das Anzünden der im Quandel angehäuften Brennstoffe

bewirkt wird. Nun werden, wie die Abbildung darstellt, die zu verkohlenden Holzstücke rings um die Quandelpfähle her und zwar möglichst dicht nebeneinander aufgestellt; zu oberst bildet man eine Haube aus kleineren Holzstücken, so dafs das Ganze annähernd paraboloidische Form erhält. Die gesamte Höhe eines Meilers pflegt 3—4 m zu sein, der gesamte Rauminhalt 100—150 cbm; in einzelnen Fällen allerdings sind die Meiler erheblich kleiner, und in anderen beträgt ihr Inhalt bis zu 300 cbm.

Ist der Meiler gerichtet, so füllt man die Zwischenräume zwischen den einzelnen Scheiten durch Einlegen dünner Holzstücke möglichst dicht aus und geht dann daran, ihn, wie schon erwähnt, mit Rasen, Laub, Moos, Nadelholzreisig oder dergleichen zu decken. Ringsum am Fufse läfst man bis zu einer Höhe von etwa 15 cm die Decke fehlen und schützt sie vor dem Hinuntergleiten durch eine auf Steinen ruhende Umfassung von Ästen oder dünnen Holzscheiten, den Fufsrüsten oder Unterrüsten. Schliefslich wird der fertig gedeckte Meiler noch mit einem „Bewurfe“ aus Erde, gemischt mit Holzkohlenklein von früheren Meilern, versehen und ist dann, nachdem man noch an der dem herrschenden Winde vorzugsweise ausgesetzten Seite des Meilers ein Windschauer, gewöhnlich eine aus Reisig gefertigte Wand, aufgestellt hat, zum Anzünden fertig. In der Abbildung stellt die mit *B* bezeichnete Lage die Decke, die äufserste schwarze Schicht den Bewurf des Meilers dar.

Kurze Zeit nachdem das Anzünden durch die Zündgasse bewerkstelligt worden ist, wird letztere sowie der Fufs des Meilers zugeworfen, und der Köhler regelt nun durch Anbringung sogenannter Raumlöcher das Feuer derartig, dafs der Brand sich allmählich vom Scheitel nach dem Fufse hin ausbreitet. Jene Raumlöcher sind Öffnungen, welche mit dem Stiele einer Schaufel durch den Bewurf und die Decke hindurch bis auf das Holz gestofsen und gürtelförmig rings um den Meiler herum gewöhnlich in zwei Reihen übereinander angeordnet werden. Durch Zuwerfen einer oberen Reihe und Einstofsen einer neuen weiter unten wird das Feuer nach und nach abwärts gezogen. Im Anfange des Verfahrens entstehen durch heftig entweichende Dämpfe oder durch Entzündung entstandener Gemische von brennbaren Gasen mit Luft mitunter Explosionen (Schütten des Meilers), durch welche ein Teil der Decke abgeworfen wird, und in solchen Fällen ist eine sofortige Wiederherstellung der Decke erforderlich, damit nicht der Meiler durch die eindringende Luft in Flammen gerate; beim Verkohlen selbst schwindet der Meiler, hohle Räume entstehen an einzelnen Stellen und müssen durch Nachfüllen frischen Holzes geschlossen werden. An der lichteren Farbe des Rauches erkennt schliefslich der Köhler, dafs der Meiler „gaar“, d. h. dafs die Verkohlung beendet ist. Die Decke wird nun sorgfältig geschlossen, um das Feuer zu ersticken; dann folgt als letzte Arbeit das Kohlenziehen, wobei täglich nur ungefähr 3 cbm Holzkohlen an ein und derselben Stelle herausgeholt werden. Die Stelle wird dann wieder gut verschlossen, damit nicht Entzündung des ganzen Meilers eintrete.

Die Zeitdauer der Verkohlung eines mittelgrofsen Meilers beträgt 15—20 Tage.

Abweichend von dem beschriebenen Verfahren der Meilerverkohlung verkohlt man in einzelnen Gegenden, jedoch seltener, die Holzscheite liegend, zu Haufen von trapezförmigem Querschnitte und rechteckiger Grundfläche aufgeschichtet (Haufenverkohlung oder Verkohlung in liegenden Meilern).

Da auch bei völligem Luftabschlusse, welcher in den Meilern niemals zu erreichen ist, ein Teil des Kohlenstoffs des Holzes in Verbindung mit dem Sauerstoff- und Wasserstoffgehalte entweicht, bei der Verkohlung in Meilern aber ein Teil des Holzes selbst verbrannt werden mufs, um die erforderliche Wärme zu erzeugen, kann das Ausbringen an Holzkohlen niemals dem Kohlenstoffgehalte des benutzten Holzes auch nur annähernd gleich sein. Es beträgt durchschnittlich 22 v. H. des Holzgewichtes, ist gröfser bei langsamer als bei zu sehr beschleunigter Verkohlung, gröfser bei älterem und trockenem als bei jungem und nassem Holze und fällt in einzelnen Fällen auf 17 v. H., während es in anderen bis auf 28 v. H. steigen kann. Letzteres Ausbringen kann jedoch nur dann erreicht werden, wenn die Verkohlung nicht ganz vollständig war. Dem Gemäfse nach erhält man aus 1 cbm Holz etwa 0,6 cbm Holzkohlen (beides einschliefslich der Zwischenräume gemessen).

Da die Meilerverkohlung im Walde unweit der Gewinnungsstätte des Holzes vor sich gehen kann und das Ausbringen an Kohlen bei der Verkohlung des Holzes überhaupt niedrig ist, spart man durch dieses Verfahren an Fracht gegenüber der Verkohlung auf der Hütte, und dieser Umstand fällt um so schwerer ins Gewicht, je gröfser die Entfernungen und je beschränkter die Verkehrsmittel sind. Die Beschaffenheit der Meilerkohlen ist bei richtiger Leitung des Verfahrens vortrefflich. Die Entgasungserzeugnisse aber (Holzessig u. a. m.) gehen bei der Meilerverkohlung ungenutzt verloren, und ihre Gewinnung in lohnender Weise ist bislang nicht gelungen, obgleich schon ziemlich häufig dahin zielende Versuche gemacht worden sind (Einstecken von Röhren in den Meiler zur Ableitung und Verdichtung der sauren Dämpfe, u. a. m.).

Verkohlung in Öfen.

Der Umstand, dafs bei der Meilerverkohlung eine fast unausgesetzte Beaufsichtigung des Meilers zur Verhütung einer Entzündung erforderlich ist, die Tätigkeit des Köhlers hierdurch sehr anstrengend wird, und dafs trotzdem bei aller Umsicht das Ausbringen an Holzkohle ziemlich gering bleibt, gab vermutlich zuerst Veranlassung zur Anwendung von Öfen, d. h. geschlossenen Räumen, in welchen der Vorgang der Verkohlung in ähnlicher Weise wie bei einem Meiler verläuft, bei denen aber die bewegliche Meilerdecke durch die gemauerte Umfassung ersetzt und somit die Gefahr vermieden ist, dafs durch unbeachtetes Abgleiten der Decke die Luft Zutritt erhält und den Meiler ganz oder teilweise entzündet.

Das Verfahren ist vereinzelt in Schweden, später auch in Nordamerika zur Anwendung gelangt, hat im ganzen aber eine weit geringere Verbreitung als die Meilerverkohlung gefunden. Die

Öfen haben entweder rechteckige Grundform, sind oben durch ein Tonnengewölbe überspannt und etwa 15 m lang, 3,5—5 m breit und ebenso hoch; oder sie sind zylindrisch gebaut und oben durch ein Kuppelgewölbe abgedeckt bei 8,5 m Durchmesser und 3,2 m Höhe bis zum Gewölbe; oder endlich, sie haben Kegelform bei 8,5—9 m Durchmesser an der Grundfläche und 6—8,5 m Höhe. Sämtliche Öfen sind unten ringsherum in den Umfassungswänden mit zwei oder drei Reihen von Öffnungen zur Regelung des Luftzutritts versehen[1]). Eine hiervon abweichende Form von Verkohlungsöfen ist später durch Ljungberg auf dem schwedischen Eisenwerke Domnarfet eingeführt worden. Jeder Ofen besteht aus vier zusammenhängenden Kammern, durch welche die Gase geleitet werden. Die Kammern werden der Reihe nach besetzt. Durch die zuletzt besetzte Kammer strömen auch die Gase zuletzt, durch ihre noch mitgebrachte Wärme das Holz vorwärmend. In der nächsten Kammer findet durch die noch wärmeren Gase die Austreibung des Wassers statt, in der dritten die Verkohlung durch Verbrennung der entweichenden und in besonderen Vorrichtungen ihres Gehalts an Teer, Essigsäure und Methylalkohol beraubten Gase. In der letzten Kammer werden die Kohlen gelöscht, um dann herausgeholt zu werden. Die entleerte Kammer wird frisch besetzt, und man rückt alsdann mit der Feuerung weiter, so dafs die Verkohlung nunmehr in der Kammer stattfindet, welche vorher zum Trocknen diente, während die Gase die frisch besetzte Kammer zuletzt erreichen. Die Einrichtung beruht auf denselben Grundsätzen wie diejenige der im VI. Abschnitte beschriebenen Ringöfen zum Brennen von Kalk. Die Zeit, während welcher das Holz im Ofen verweilt, beträgt 20 Tage. Aus 100 kg Holz erfolgen bei diesem Verfahren etwa 24 kg Holzkohle, 0,8 kg Teer, 1,5 kg Essigsäure, 0,6 kg Methylalkohol, während bei der Meilerverkohlung das Ausbringen an Holzkohle nur etwa 20 kg betrug und die Nebenerzeugnisse ungenutzt entwichen[2]).

Die Verkohlungsöfen erheischen Anlagekosten, welche getilgt werden müssen, und alljährliche Ausgaben der Unterhaltung, welche bei der Meilerverkohlung wegfallen; das Holz mufs nach den Öfen befördert werden, und je weiter die Entfernung ist, desto stärker tritt der Unterschied in den Kosten für die Verfrachtung des Holzes und der Kohlen zutage. In Schweden ist deshalb die Ofenverkohlung vornehmlich da in Anwendung, wo das Holz durch Flöfsen befördert werden kann. Dagegen ermöglichen die Öfen den Betrieb zu jeder Jahreszeit, die Löhne sind niedriger, und das Ausbringen ist etwas günstiger als bei der Meilerverkohlung; zum Teil freilich nur deshalb, weil die Verkohlung weniger vollständig als in Meilern zu sein pflegt. Daher ist auch die Güte der ausgebrachten Kohlen nach dem Urteile mancher Eisenhüttenleute durchschnittlich geringer als die der Meilerkohlen.

---

[1]) Abbildungen dieser älteren Verkohlungsöfen findet man in den unter „Literatur" genannten Werken und Abhandlungen.

[2]) Aus Jernkontorets Annaler 1897, Seite 5 in „Stahl und Eisen" 1897, Seite 932; auch „Stahl und Eisen" 1898, Seite 77.

Verkohlung in Retorten.

Das Bestreben, die bei der Zersetzung des Holzes auftretenden Nebenerzeugnisse, insbesondere den Holzessig, vollständiger zu gewinnen und nutzbar zu machen, als es bei der Ofenverkohlung möglich ist, führte schon vor geraumer Zeit zu der Anwendung von Retorten für die Verkohlung, d. h. von geschlossenen Behältern, welche von aufsen durch besondere Feuerung erhitzt werden, und aus welchen die sich verflüchtigenden Zersetzungsgebilde durch Röhren nach Verdichtungsvorrichtungen geführt werden können. In den meisten Fällen beschränkt sich allerdings die Anwendung des Verfahrens auf solche Verhältnisse, wo die Gewinnung der flüchtigen Körper Hauptzweck und die Gewinnung der Holzkohlen nur ein Nebenzweck ist; indessen hat man vereinzelt auch auf Eisenwerken das Verfahren eingeführt. In Deutschland ist am Harze eine derartige Anlage im Betriebe (Rübeland), welche für zwei Hochöfen die Holzkohlen liefert.

Die liegenden Retorten bestehen aus schmiedbarem Eisen und haben so bedeutende Abmessungen, dafs das in eisernen Wagen auf Schienen von den Lagerplätzen herbeigefahrene Holz samt den Wagen hineingebracht werden kann. Auf einigen Werken haben sie 1 m Durchmesser bei 3 m Länge; auf einer neuen Anlage zu Sault-Ste-Marie in Kanada hat man Retorten von 1,90 m Breite, 2,48 m Höhe und 14 m Länge angelegt, deren jede vier Wagen mit einem Rauminhalte von je 7,2 cbm aufzunehmen vermag. Auch stehende Retorten sind bisweilen zur Anwendung gekommen. Hinsichtlich der Einzelheiten einer solchen Einrichtung und ihres Betriebes mufs auf die gegebene Literatur verwiesen werden.

Aus 100 kg Holz erhielt man auf dem genannten Harzer Werke nach einem jährlichen Durchschnitte 20 kg Holzkohlen, 1 kg Holzgeist (Methylalkohol), 4 kg essigsaures Calcium; bei einer Holzverkohlungsanstalt zu Lohe im Siegenschen erhielt man dagegen, abweichend nach der Beschaffenheit des Holzes, 23—25 kg Holzkohlen, 2—5 kg Essigsäure, 39—48 kg Teer und Holzgeist[1]). Im übrigen sind die Betriebsergebnisse verschieden, je nachdem man hartes Holz oder weiches Holz verkohlt.

Den Erträgen für die chemischen Erzeugnisse aufser der Holzkohle stehen die Mehrkosten für die Beförderung des Holzes, die Tilgungs- und Unterhaltungskosten der Anlage, die Betriebskosten für die Durchführung der chemischen Arbeiten, der Brennstoffverbrauch zum Heizen der Retorten, sowie auch der Umstand gegenüber, dafs die Retortenkohlen einen geringeren Heizwert besitzen als die Meilerkohlen, und dafs ihr Verbrauch für den gleichen Zweck mithin entsprechend gröfser ist. Ob der Wert der zu erlangenden Nebenerzeugnisse ausreicht, die Einführung des Verfahrens für Eisenwerke an Stelle der Meilerverkohlung zu rechtfertigen, bleibt von den örtlichen Verhältnissen abhängig. Jedenfalls ist in Rücksicht auf den schon erwähnten Umstand, dafs die Benutzung des Holzes und der Holzkohle für die Zwecke des

---

[1]) Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ingenieure, 1893, Seite 1490.

Eisenhüttenbetriebs sich von Jahr zu Jahr mehr verringert, je mehr die Verkehrsmittel sich ausdehnen, eine umfangreichere Einführung der Retortenverkohlung auf den Eisenwerken nicht mehr zu erwarten.

Eigenschaften der Holzkohle.

Die Holzkohle besitzt eine starke Neigung, Feuchtigkeit und Gase an ihrer Oberfläche zu verdichten, welche erst bei starker Erhitzung entweichen; war die Verkohlung aber nicht ganz vollständig gewesen, so enthält die Kohle auch noch einen Teil der flüchtigen Bestandteile des Holzes (Wasserstoff, Stickstoff). Bei der chemischen Untersuchung ist es nicht möglich, mit Sicherheit nachzuweisen, welcher der beiden Quellen die gefundenen flüchtigen Körper entstammen; für die Verwendung der Holzkohle ist dieser Nachweis auch ohne Belang. Als mittlere Zusammensetzung einer guten lufttrockenen Holzkohle kann man annehmen:

Kohlenstoff	Flüchtige Körper (aufser Feuchtigkeit)	Feuchtigkeit	Asche
84	4	9	3

1 cbm Nadelholzkohle (einschliefslich der Zwischenräume) wiegt 125—180 kg, 1 cbm harte Laubholzkohle 200—240 kg.

Gute Holzkohle ist tiefschwarz, hart, klingend, wenig abfärbend; war sie bei allzu raschem Betriebe oder bei Luftzutritt erzeugt, so ist sie mürbe, zerreiblich, abfärbend und besitzt geringen Brennwert. Kohlen, die bei zu niedriger Temperatur gewonnen waren und demnach aus unvollständig verkohltem Holze bestehen, haben braune Farbe, gröfsere Festigkeit, brennen, wenn sie entzündet werden, mit Flamme und heifsen Bränder.

c) Die Verkohlung des Torfes und die Torfkohle.

Man verkohlt den Torf, ebenso wie das Holz, in Meilern, in Öfen und Retorten. Da das Verfahren für den Eisenhüttenbetrieb kaum irgendwelche Bedeutung besitzt, möge hinsichtlich seiner Ausführung auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden.

Die Torfkohlen zeigen in ihrem Äufseren das Gefüge des benutzten Torfes, sind leicht, schwammig. Eine gute, für metallurgische Zwecke brauchbare Torfkohle läfst sich nur aus geprefstem Maschinentorf darstellen; Stechtorf liefert leichte, geringwertige Kohlen. Die schwache Seite der meisten Torfe, ihr grofser Aschengehalt, zeigt sich noch deutlicher bei der Torfkohle, in welcher der gesamte Aschengehalt unverändert zurückbleibt. Aus diesem Grunde unterzieht man überhaupt nur die besten, aschenarmen Torfe der Verkohlung.

Wie die Holzkohle enthält die Torfkohle noch flüchtige Körper und Feuchtigkeit. Der Gehalt an diesen Körpern ist dem der Holzkohle annähernd gleich, der Aschengehalt aber gröfser, selten unter 6 v. H., oft erheblich darüber. Versuche, die Torfkohle für den Eisenhüttenbetrieb zu verwenden, sind zwar öfters angestellt worden, haben jedoch selten oder nie einen recht befriedigenden Erfolg geliefert (vergleiche Literatur).

d) Die Verkohlung (Verkokung) der Steinkohlen und der Koks.

Allgemeines.

Nicht eigentlich der Wunsch, eine flammenlos brennende Kohle zu erhalten, veranlafste die ersten Versuche zur Verkohlung der Steinkohlen, sondern man hatte vielmehr, wie ältere Schriftsteller berichten, als vornehmsten Zweck ihre Entschweflung im Auge[1]. Wahrscheinlich ist es allerdings, dafs man den übeln, gröfstenteils von unverbrannt entweichenden Kohlenwasserstoffen herrührenden Geruch, den eine in mangelhafter Feuerungseinrichtung verbrennende Steinkohle verbreitet, irrtümlicherweise für den Geruch von flüchtigem Schwefel hielt und, dieser Anschauung entsprechend, den wirklichen Zweck der Verkohlung nur unrichtig bezeichnete. Noch im 18. Jahrhundert bezeichnete man die Steinkohlenverkohlung nicht selten als Entschweflung.

Die ersten Versuche des Verfahrens wurden, wie aus einer in der Bibliothek zu Wolfenbüttel aufbewahrten Handschrift vom Jahre 1584 hervorzugehen scheint, durch Herzog Julius von Braunschweig-Lüneburg veranlafst[2]. Im gröfseren Mafsstabe wurden bald darauf die Versuche in Grofsbritannien fortgesetzt, und im Jahre 1619 erhielt Lord Dudley ein Patent auf ein von seinem Sohne Dud Dudley erfundenes Verfahren zur Eisenerzeugung mit Koks[3].

Die Verkohlung der Steinkohlen nennt man Verkokung, das Erzeugnis Koks.

Wie schon früher erwähnt worden ist, benutzt man für die Verkokung in der Regel backende Kohlen, vereinzelt langflammige trockene Kohlen, gar nicht oder nur in Vermischung mit backenden anthrazitische Kohlen.

Die Backfähigkeit verschiedener Steinkohlen gewährt einen Vorteil von nicht geringer Bedeutung. Da nämlich selbst ganz feinstückige backende Kohlen beim Erhitzen wieder zu festen, grofsen Stücken zusammenschmelzen, ist die Möglichkeit gegeben, jene Kohlen vor der Verkokung einer Aufbereitung durch Zerkleinerung und Waschen zur Abminderung ihres Aschengehalts zu unterziehen. Zahlreiche Kohlenarten, welche ohne diese Aufbereitung zu aschenreich sein würden, um gut brauchbare Koks zu liefern, lassen sich bei Benutzung des genannten Mittels noch mit Vorteil für die Verkokung verwenden, und der jetzige Bedarf an aschenarmen Koks würde sich ohne die Benutzung aufbereitungsfähiger Backkohlen gar nicht decken lassen. Erst seit dem Jahre 1830 ist jedoch die Aufbereitung der Steinkohlen üblich geworden, und erst seit Anfang der sechziger Jahre wurde die Benutzung aufbereiteter Steinkohlen für die Verkokung allgemeiner[4].

---

[1] R. C. Galloway, History of Coal Mining. London 1882. Daraus in F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Berlin 1887, Seite 5.

[2] Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens, Bd. 2, Seite 784.

[3] Ebenda, Seite 1259.

[4] Literatur über Steinkohlenaufbereitung: A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage, Paris 1881; R. Lamprecht, Die Aufbereitung

Da das Ausbringen an Koks im allgemeinen mit dem Kohlenstoffgehalte der verwendeten Steinkohlen zunimmt, benutzt man für die Verkokung mit Vorliebe jene kohlenstoffreicheren Steinkohlen, welche zwar noch backen, aber weniger leicht als die kohlenstoffärmeren Gaskohlen und Schmiedekohlen, und deshalb einer höheren Temperatur als diese zur Verkokung bedürfen. Auch die Beschaffenheit der erfolgenden Koks hängt zum Teil von der Backfähigkeit der verwendeten Steinkohlen ab. Die leicht backenden gasreicheren Kohlen blähen sich beim Erhitzen stark auf, und die erfolgenden Koks sind alsdann porig, verhältnismäfsig leicht zerdrückbar und beim Verbrennen zur Kohlenoxydbildung geneigt (Seite 46); die weniger stark sich aufblähenden, schwieriger backenden, gasärmeren Steinkohlen geben dichtere, festere, beim Verbrennen zur Kohlendioxydbildung neigende Koks, welche für die meisten Verwendungen geeigneter sind als jene.

Häufig vermischt man mehrere Steinkohlenarten, leicht und schwierig backende, nach geschehener Aufbereitung und gewinnt solcherart einen Stoff, welcher besser für die Koksdarstellung geeignet ist als die einzelne Sorte[1]). Jenem starken Aufblähen gasreicher, leicht backender Kohlen läfst sich durch reichliches Befeuchten der Kohlen vor der Verkokung entgegenwirken, welches zugleich den Zweck verfolgt, die Entführung von Kohlenteilchen durch den Gasstrom zu erschweren. Es ist deshalb Regel, aufbereitete Kohlen im stark angefeuchteten Zustande zu verkoken. Gasreiche Kohlen enthalten, wenn sie zur Verkokung gelangen, bis 15 v. H., gasärmere bis 10 v. H. ihres Eigengewichts Wasser. Zu der Verdampfung des Wassers aber wird Wärme verbraucht, und der Wasserzusatz bleibt deshalb immerhin ein Übel, wenn auch oft ein unvermeidliches.

Von der Beschaffenheit der zur Verwendung stehenden Steinkohlen oder ihres Gemisches mufs die Wahl des Verkokungsverfahrens abhängig sein.

Die Meilerverkokung.

Die **Meilerverkokung** ist das älteste Verfahren und der Holzverkohlung in Meilern nachgeahmt. Sie gestattet nicht die Anwendung feinstückiger, also aufbereiteter Steinkohlen, sondern man mufs Stückkohlen dafür benutzen; auch backende Kohlen sind nicht brauchbar, da bei dem eintretenden Zusammenfritten der Zutritt der Luft, welcher in beschränktem Mafse immerhin erforderlich ist, unmöglich werden würde. Zur Durchführung der Meilerverkokung mufs, wie bei der Meilerverkohlung des Holzes, ein Teil

der Steinkohlen, Leipzig 1888; F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Seite 22; Nimax, Über Anlage von Kohlenwäschen „Stahl und Eisen“, 1884, Seite 9. Auch H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., 2. Bd., Seite 704.

[1]) Zum Mischen bedient man sich bei gröfseren Anlagen besonderer mit Maschinenbetrieb versehener Gebäude, in welchen die Kohlen emporgehoben, gemischt und in die unten stehenden Behälter oder Wagen geschüttet werden. Abbildung solcher Kohlenmischer: Bulletin de la société de l'industrie minérale, Bd. 5, Tafel 16; Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preufsischen Staate, Bd. 44 (1896), Tafel 31.

der Kohlen selbst verbrannt werden, und das Ausbringen ist teils aus diesem Grunde, teils auch wegen des verhältnismäfsig niedrigen Entgasungsrückstandes der benutzbaren Kohlen an und für sich ungünstig. Hieraus erklärt sich, dafs dieses Verfahren nur noch selten, hier und da in Grofsbritannien, vermutlich auch noch vereinzelt in Oberschlesien und überhaupt nur da in Anwendung ist, wo aschenarme, billige, grofsstückige Kohlen zur Verwendung stehen. Man verkokt in Meilern vornehmlich die obenerwähnten, an flüchtigen Körpern reichen Sinterkohlen und stellt daraus brauchbare Koks für den Schachtofenbetrieb dar, für welchen die rohen Kohlen eben ihres Gehaltes an flüchtigen Körpern halber weniger geeignet sein würden.

Die Abb. 5 stellt einen Steinkohlenmeiler dar[1]). Zur Erzeugung des Luftzuges, welcher in Anbetracht der Schwerverbrennlichkeit und dichteren Lagerung der Steinkohlen stärker sein mufs als bei Holzkohlenmeilern, stellt man in der Mitte des Meilers eine Esse

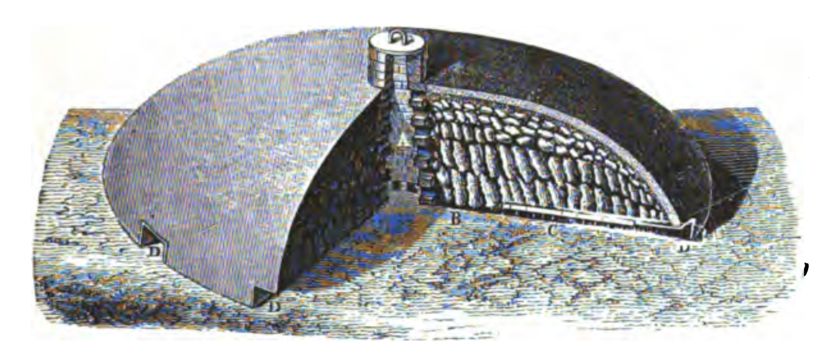


Abb. 5.

mit Zuglöchern auf, oben durch einen Deckel zur Absperrung des Zuges verschliefsbar. Um die Esse herum werden die Kohlen in der Weise aufgestellt, wie die Abbildung zeigt. *DD* sind Zündkanäle, von aufsen bis zur Esse führend, in der Nähe der letzteren (bei *B*) aus grofsen Steinkohlenstücken, in der Nähe des Umfangs dagegen aus Ziegelsteinen gebildet. Auf die unteren grofsstückigen Kohlen kommen mittelstückige, auf diese kleinere Würfelkohlen, zwischen welche man aus Ziegelsteinen einzelne wagerechte, nach der Esse führende Züge einbaut. Das Ganze wird mit Kokslösche zugedeckt. Ein solcher Meiler pflegt 1,5—2 m hoch zu sein und 10—30 t Steinkohlen aufzunehmen. Das Anzünden erfolgt entweder durch die Zündgassen, oder von dem Innern der Esse aus, oder von beiden Stellen zugleich.

Das Ausbringen bei der Meilerverkokung beträgt gewöhnlich 60—65 v. H. des Steinkohlengewichts. Zu berücksichtigen ist hierbei, wie bei den verschiedenen Verkokungsverfahren überhaupt, dafs die Aschenbestandteile der Kohle fast unverändert zurückbleiben, und dafs mithin das Ausbringen bei aschenreicher Kohle

[1]) Aus B. Kerl, Grundrifs der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Aufl., Seite 123.

durchschnittlich höher als bei aschenarmer ausfällt; ferner daſs die Zersetzung der Kohlen bei diesem Verfahren niemals ganz vollkommen ist. Diese Umstände erklären es, daſs jenes Ausbringen trotz der unvermeidlichen Verbrennung von Kohle doch annähernd ebenso hoch, bisweilen noch etwas höher sich beziffert als der Entgasungsrückstand der reinen Kohlenmasse (Seite 75).

Die älteren Verkokungsöfen.

Je mehr der Bedarf an Koks stieg, desto stärker machte sich die Notwendigkeit geltend, ein Verkokungsverfahren zur Anwendung zu bringen, welches nicht, wie die Meilerarbeit, auf die Benutzung groſsstückiger, nicht backender Steinkohlen beschränkt bleibt. So entstand die Ofenverkokung.

Unter den verschiedenen älteren Verkokungsöfen tritt uns als die einfachste Form unter dem Namen Schaumburger Ofen eine aus den ersten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts stammende Einrichtung entgegen, welche man sich als eine seitliche, oben offene, aus Mauerwerk dargestellte Begrenzung eines liegenden Meilers mit langgestreckter Grundfläche vorstellen kann. Die Wärme wird dadurch besser zusammengehalten, und der Zutritt der Luft wird geregelt, indem man Öffnungen in den Seitenwänden anbringt, die durch eingelegte Steine nach Belieben geschlossen werden können. Auch für backendes Kohlenklein lassen sich diese Schaumburger Öfen verwenden, die übrigens ebenso selten als Meiler in Anwendung sind und mit diesen den Nachteil eines ziemlich geringen Ausbringens gemeinsam haben. Ihrer Einfachheit und billigen Herstellung halber bedient man sich ihrer bisweilen noch, wo die Aufgabe vorliegt, rasch eine Einrichtung zur Verkokung gröſserer Kohlenmengen zu schaffen[1]).

Eine andere, aus älterer Zeit stammende Gattung von Verkokungsöfen nennt man Bäckeröfen oder Backöfen, in Groſsbritannien ihrer Form halber Bienenkorböfen. Jeder dieser Öfen bildet einen geschlossenen, oben überwölbten Raum von kreisrunder, seltener gestreckter Grundform, unten mit einer oder zwei Türen zum Ausbringen, oben mit einer Füllöffnung und einer Abzugsöffnung für die Gase versehen. Der Ofen wird durch Verbrennung von Kohlen geheizt, dann, wenn die Wände glühend geworden sind, mit Kohlen beschickt, deren Zersetzung sofort beginnt[2]). Man leitet nun durch Kanäle innerhalb des Ofengemäuers Luft in das Innere über die Kohlen, um die sich entwickelnden Gase zu verbrennen und hierdurch den Ofen in Glut zu erhalten. Nach beendigter Verkokung werden die Türen geöffnet, die Koks durch Besprengen mit Wasser abgelöscht und dann mit der Krücke herausgezogen, worauf der noch glühende Ofen sofort von neuem gefüllt wird. Immerhin ist es unvermeidlich, daſs neben den Gasen durch die eintretende Luft auch ein Teil der Koks selbst verbrannt

---

1) Abbildung eines solchen Schaumburger Ofens: B. Kerl, Grundriſs der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Aufl., Seite 124.

2) Wegen dieser Betriebsweise hat man die Öfen Bäckeröfen genannt. Auch bei diesen werden zunächst die Wände erhitzt, und dann erst wird das zu backende Brot eingeschoben.

wird, ja sogar verbrannt werden mufs, damit die erforderliche Temperatur erzeugt werde; die Erhitzung aber bleibt bei dem beträchtlichen Ofenquerschnitte trotzdem ziemlich ungleichmäfsig, und die Temperatur kann innerhalb der Kohlenschicht niemals sehr hoch werden. Läfst man die Gase ohne weiteres aus dem Ofen austreten, so entwickeln sie beträchtlichen Rauch und belästigen die Umgebung. Die Bäckeröfen eignen sich der geschilderten Eigentümlichkeiten halber mehr für gut backende, in niedriger Temperatur kokende, langflammige Kohlen als für solche, welche, reich an Kohlenstoff, schwieriger backen und einer höheren Temperatur für die Verkokung bedürfen, als in diesen Öfen zu erreichen ist. Sie sind verhältnismäfsig selten geworden, seitdem man gelernt hat, auch die schwieriger backenden, für die Koksdarstellung wertvolleren Kohlen zu verkoken. Am häufigsten werden sie noch in den Vereinigten Staaten Nordamerikas und in Grofsbritannien getroffen, wo die Beschaffenheit der Steinkohlen ihre Anwendung trotz des verhältnismäfsig niedrigen Ausbringens und trotz der keineswegs ganz gleichmäfsigen Beschaffenheit der erfolgenden Koks rechtfertigen kann. Auch in Oberschlesien, wo leichtbackende Steinkohlen in reichlichen Mengen gewonnen werden, konnte man vor nicht langer Zeit vereinzelt noch Bäckeröfen finden; hier und da auch noch in Westfalen[1]).

Die Füllung pflegt etwa 6 t, die Zeitdauer der Verkokung drei Tage zu betragen.

Neuere Verkokungsöfen.

Die Aufgabe, kohlenstoffreichere, ein höheres Ausbringen und dichtere Koks liefernde Steinkohlen für die Verkokung zu verwenden, läfst sich wegen der geringeren Backfähigkeit dieser Kohlen nur lösen, wenn man diese einer stärkeren und gleichmäfsigeren Erhitzung unterwirft, als in den älteren Verkokungsöfen zu erreichen ist. Seitdem man diese Tatsache und zugleich die Bedeutung erkannte, welche gerade die erwähnten Kohlen für die Koksdarstellung besitzen, sind zahlreiche Verkokungsöfen eingeführt worden, welche zum Unterschiede von den besprochenen als neuere Öfen bezeichnet werden können. Bei allen diesen Öfen sind die zu verarbeitenden Kohlen in einem verhältnismäfsig engen Raume, einer Kammer, eingeschlossen, welche von aufsen wie eine Retorte geheizt wird; als Heizstoff dienen die aus den Kohlen selbst entweichenden Gase, welche in Zügen um die Kammern herumgeführt werden, und bei zweckmäfsiger Einrichtung der Öfen bleibt selbst bei Verkokung gasarmer Kohlen gewöhnlich noch eine ausreichende Menge der Gase übrig, oder die Öfen liefern ausreichende Abhitze, um für Nebenzwecke (z. B. Dampfkesselfeuerung) benutzt werden zu können.

---

[1]) Abbildung von Bäckeröfen enthalten die meisten älteren metallurgischen Werke: z. B. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenknnde, Bd. 2, Seite 729; Kerl, Grundrifs der allgemeinen Hüttenkunde, Seite 126. Angaben über die Abmessungen und den Betrieb der jetzt noch vorhandenen Bäckeröfen: Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund, Seite 28; Wedding, in „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 924 (mit Abbildungen).

Diese Heizung der Öfen von aufsen bildet den wesentlichsten Unterschied gegenüber der Einrichtung der besprochenen Bäckeröfen.

Jeder einzelne Ofen besitzt die Form eines hohlen Prismas mit rechteckigem Querschnitt und gewöhnlich wagerechter Achse; damit aber durch die Heizung von aufsen die erforderliche starke und doch gleichmäfsige Erhitzung des Innern möglich sei, darf die Breite des Ofens (Prismas) nicht beträchtlich sein. Sie schwankt von 0,40—1,00 m und ist um so geringer, je schwieriger die Kohle backt, je stärkere Erhitzung also erforderlich ist. Umgekehrt würde eine leichter backende und gasreichere Kohle sich stark aufblähen und wenig dichte Koks liefern, wenn man sie in allzu schmalen Öfen einer zu raschen und starken Erhitzung aussetzen wollte. Die Einrichtung der Öfen im einzelnen mufs deshalb der Beschaffenheit der zu verkokenden Steinkohlen angepafst sein.

Dieser verschiedenen Einrichtung des Ofens und verschiedenen Beschaffenheit der Kohlen gemäfs schwankt die Verkokungszeit zwischen 24—60 Stunden. Da aber die Erzeugung eines einzelnen Ofens, entsprechend seinem geringen Fassungsraume, ziemlich beschränkt ist und durchschnittlich nicht mehr als etwa 90 t monatlich beträgt, so vereinigt man viele nebeneinander angeordnete Öfen zu einer gemeinschaftlichen Gruppe, häufig Batterie genannt.

Der Betrieb dieser Öfen geht, sobald sie einmal in Glut sich befinden, ununterbrochen fort, da nach dem Einschütten frischer Kohlen die Zersetzung beginnt und brennbare Gase entweichen. Ein kalter Ofen dagegen mufs, bevor das Einschütten beginnen kann, zuvor erhitzt werden.

Das Ausbringen ist durchschnittlich höher als in den älteren Öfen, teils, weil die Kohlen selbst mehr als in letzteren vor Verbrennung geschützt sind, hauptsächlich auch, weil der Entgasungsrückstand der zur Verkokung benutzten Kohlen an und für sich gröfser ist. Gewöhnlich beträgt das Ausbringen 70—73 v. H. des Steinkohlengewichts.

Öfen mit senkrechter Achse, deren ältester schon 1854 durch Appolt eingeführt wurde, sind in jetziger Zeit selten, so dafs hinsichtlich ihrer Einrichtung auf die am Schlusse dieses Abschnitts gegebene Literatur verwiesen werden kann [1]). Sie sind kostspieliger in der Anlage und Unterhaltung als die Öfen mit wagerechter Achse. Als Veranlassung zu ihrer Anwendung wird mitunter der Umstand angeführt, dafs bei Verkokung leicht backender, sich aufblähender Kohlen in den senkrechten Öfen dichtere Koks als in den wagerechten Öfen erfolgen, weil in den ersteren das Gewicht der höheren Kohlenschicht selbst das starke Aufblähen verhindert. In der Mehrzahl der Fälle hat man jedoch Gelegenheit, jene allzu leicht backenden Kohlen mit gasärmeren zu mischen und so einen auch für die Verkokung in wagerechten Öfen gut geeigneten Stoff zu gewinnen.

Die liegenden Öfen sind 7—11 m lang, 1,2—1,9 m hoch, während

---

[1]) Insbesondere enthalten die Werke von Dürre ausführliche Mitteilungen hierüber.

ihre Breite, wie erwähnt, zwischen 0,4—1,0 m schwankt und vornehmlich von der Beschaffenheit der zu verkokenden Steinkohlen abhängt. Das Einfüllen erfolgt durch Öffnungen im Scheitel, welche nach Beendigung des Füllens durch aufgelegte Deckel geschlossen werden; an den beiden Stirnseiten sind die Öfen durch eiserne, innen mit feuerfestem Futter versehene Türen geschlossen, welche senkrecht aufgezogen werden können oder sich in Angeln drehen und seitlich aufschlagen. Für das Aufziehen der zuerst genannten Türen dient in der Regel ein fahrbarer Kran, welcher auf dem Scheitel der Öfen von einem Ofen zum anderen bewegt werden kann (vergleiche unten Abb. 8). Die Fugen werden mit Lehm verstrichen; in der oberen Türhälfte sind gewöhnlich Schauöffnungen angebracht.

Der Anordnung der Züge gemäfs, in welchen die zur Heizung dienenden Gase um den Ofen herumgeführt werden, lassen sich die liegenden Öfen in zwei Gruppen, mit wagerechter und mit senkrechter Zugführung, einteilen, deren Eigentümlichkeiten am leichtesten durch Beispiele Erläuterung finden.

Die Öfen mit wagerechter Zugführung sind die älteren. Als ein Beispiel kann der in Abb. 6 und 7 dargestellte, in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts eingeführte und jetzt nur noch selten benutzte Koksofen von Smet dienen[1]). Die Gase treten durch zwei im Gewölbe angebrachte Öffnungen *aa* in zwei durch senkrechte Scheidewände *bb* voneinander getrennte Kanäle *ee* an der rechten Seite jedes Ofens; jeder der beiden Gasströme streicht dann in wagerechter Richtung zunächst oberhalb der wagerechten Zunge *d* von der Mitte des Ofens nach dem Ende zu, tritt durch den Schlitz *f* unter die Zunge *d*, zieht in dem Kanale *g* abermals in wagerechter Richtung rückwärts, um von hier aus in die Sohlenkanäle cc_1 hh_1 einzutreten und schliefslich durch die in der Mitte der Ofenlänge angebrachte, durch eine senkrechte Scheidewand ebenfalls in zwei Hälften geteilte Esse ll_1 zu entweichen. Jeder Ofen hat demnach, wie auch Abb. 6 erkennen läfst, seine eigene Esse. *m* in Abb. 6 ist eine der Füllöffnungen, deren jeder Ofen zwei in entsprechendem Abstande voneinander besitzt (in Abb. 7 durch Punkte angedeutet). Abb. 6 läfst auch die Verankerung der Öfen und die Anordnung der Türen erkennen.

Bei anderen Öfen dieser Gruppe (z. B. Haldys Ofen, abgebildet u. a. in „Stahl und Eisen“ 1883, Heft 7, Blatt 1) fällt die Teilung des austretenden Gasstroms in zwei Hälften weg. Die durch mehrere (gewöhnlich 12) Öffnungen austretenden Gase ziehen zwischen den beiden Nachbaröfen in einem langen wagerechten Kanale zunächst dem einen Ende des Ofens zu, dann in einem zweiten, darunterliegenden Kanale rückwärts und gelangen aus diesem in die Sohlenkanäle.

Bei allen diesen Öfen mit wagerechter Zugführung hatte man das Ziel im Auge, die Wärme der Gase tunlichst auszunutzen, indem man diese einen langen Weg zurücklegen läfst. Eben deshalb

---

[1]) Die eingeschriebenen Mafse bedeuten Zentimeter; die Gesamthöhe (2,70) und -länge (6,08) dagegen sind in Metern angegeben.

aber gelangen sie im bereits abgekühlten Zustande in die Sohlkanäle, und die Bodenheizung bleibt beschränkt. Die langen Seitenwände der Öfen sind nur durch die wagerechte Mauerzunge und bei Smets Ofen durch eine senkrechte Scheidewand abgesteift; damit sie dem Drucke der im Innern befindlichen, beim Erhitzen sich aufblähenden Kohlen Widerstand leisten können, müssen sie aus ziemlich dicken Steinlagen (150—160 mm) gefertigt werden. Diese Eigentümlichkeiten der Öfen dieser Gruppe erschweren die Erzielung einer gleichmäfsigen hohen Temperatur im Ofeninnern und machen sie geeigneter zur Verkokung gut backender Kohlen als solcher, welche zwar ein höheres Ausbringen als diese liefern, aber auch einer höheren Temperatur für die Verkokung bedürfen.

Unter den Verkokungsöfen mit senkrechter Zugführung ist der in Abb. 8—10 dargestellte Ofen von Coppée[1]) vornehmlich berühmt geworden, welcher, im Anfange der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts eingeführt, unter sämtlichen Verkokungsöfen der Jetztzeit die weiteste Verbreitung gefunden hat. Abb. 8 zeigt den Längsschnitt durch eine der Kammern, Abb. 9 den Schnitt durch die senkrechten Feuerzüge, Abb. 10 links einen Querschnitt durch die Kammern nach der Linie 1—1 in Abb. 8, rechts nach der Linie 2—2.

Die Gase treten aus jeder der Kammern an einer Seite durch 28—30 gleichmäfsig verteilte Öffnungen in ebenso viele, zwischen zwei Nachbaröfen senkrecht abwärts führende Kanäle, vereinigen sich unter der Sohle mit den Gasen des Nachbarofens (vergl. Abb. 10 linke Hälfte), gelangen, nachdem sie die Sohle des ersten Ofens erhitzt haben, unter die Sohle des zweiten und entweichen schliefslich durch einen schräg abwärts führenden Kanal (Abb. 8 links) in den gemeinschaftlichen Sammelkanal, welcher sie der Esse (oder häufig zunächst dem Dampfkesselofen) zuführt.

Die Verbrennungsluft gelangt durch einzelne senkrechte, mit Schiebern versehene Öffnungen im Scheitel der Öfen (Abb. 9) zunächst in wagerechte Kanäle, welche oberhalb der senkrechten Feuerzüge in der Längsrichtung des Ofens sich erstrecken, um hier vorgewärmt und dann durch je eine senkrechte Öffnung abwärts und den aus Öfen austretenden Gasen zugeführt werden (Abb. 9 und 10).

Die senkrechten Feuerzüge sind durch Scheidewände getrennt, welche, von der Wand des einen Ofens zu der des Nachbarofens hinübergehend, diesen Wänden eine grofse Standfestigkeit verleihen, und eine gut durchdachte Form der zum Bau benutzten feuerfesten Ziegel trägt noch zur Erhöhung dieser Standfestigkeit bei. Dadurch wird es ermöglicht, die Stärke der Ofenwände auf ein kleines Mafs (bei einzelnen Anlagen nur etwa 90 mm) zu beschränken, ohne dafs der Ofen Gefahr läuft, sich unter dem Drucke der sich aufblähenden Kohlen zu bauchen.

Diese geringe Wandstärke im Verein mit der Eigentümlichkeit der Gasführung, insbesondere der geringen Längenausdehnung der Züge und der Vereinigung der Gase unter der Sohle, ermöglicht

[1]) Von der Firma Dr. Otto & Comp. in Dahlhausen an der Ruhr erbaut.

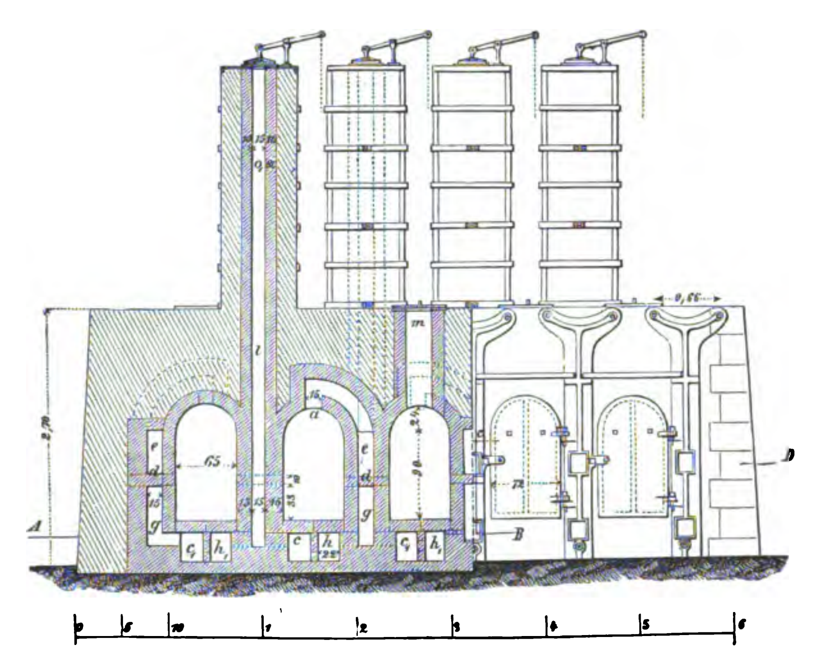


Abb. 6.

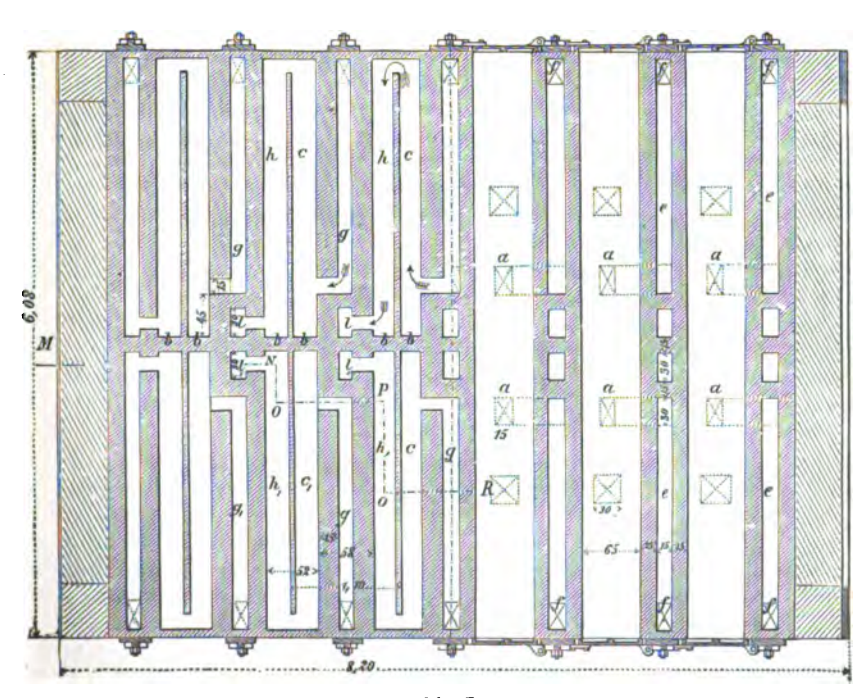


Abb. 7.

die Erzielung einer hohen Temperatur, welche den Coppée-Ofen zur Verkokung magerer, gasarmer Kohlen geeignet macht; aber eben jene starke Sohlenheizung macht eine Kühlung des Unterbaues notwendig. Ein Netzwerk von Kanälen im Unterbau, durch welche Luft hindurchstreicht, dient diesem Zwecke. Aus den im Unterbau der Öfen befindlichen, mit der äufseren Luft in Verbindung stehenden weiten Kanälen *aa* tritt die Luft durch senkrechte, in den Abbildungen nicht sichtbare Öffnungen in die unterhalb der Sohlenheizzüge befindlichen, durch Querkanäle miteinander in Verbindung stehenden Kühlkanäle *bb* (Abb. 8 und 10), von wo aus sie durch die beiden an den Enden der Ofenbatterie befindlichen, in Abb. 8 und 9 sichtbaren Essen abgesaugt wird.

Damit die Entleerung der Kammern besser und ohne Gefahr für eine Beschädigung der Seitenwände vor sich gehe, laufen die letzteren nicht vollständig parallel, sondern gehen nach der Richtung hin, nach welcher die Koks ausgedrückt werden, etwas auseinander.

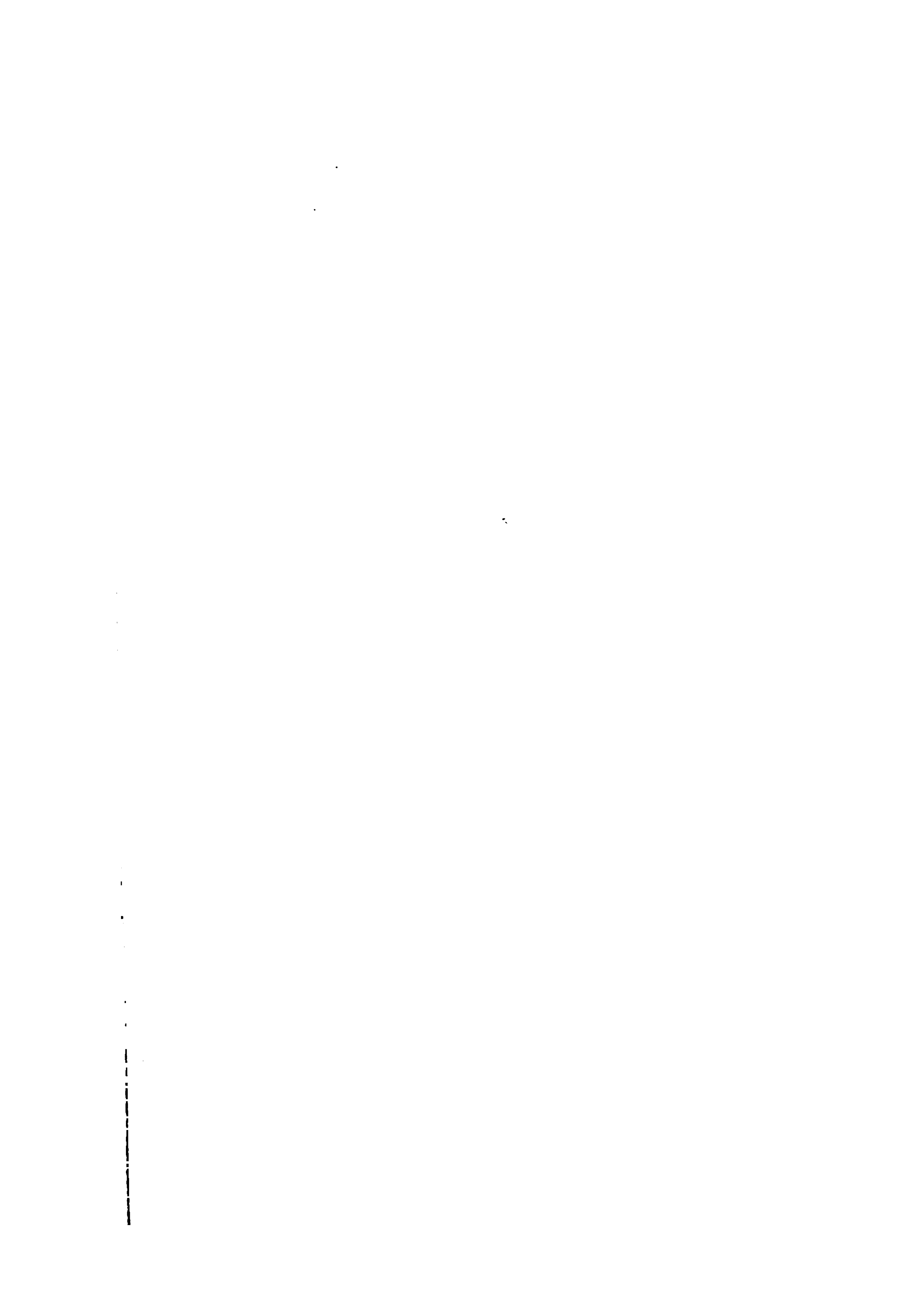
Bei allen solchen Öfen, deren Gase, ohne mit den Gasen anderer Öfen vermischt zu werden, sofort zur Heizung desselben Ofens dienen, welchem sie entstammen, macht sich der Übelstand geltend, dafs die Menge und Zusammensetzung der Gase in den verschiedenen Abschnitten der Verkokung beträchtlichen Schwankungen unterliegt. Gerade dann aber, wenn die stärkste Gasentwicklung stattfindet und demnach die gröfste Luftmenge zur Verbrennung der Gase erforderlich ist, wird am wenigsten Luft angesaugt, weil mit der Gasmenge die Gasspannung in den Feuerzügen steigt. Die Verbrennung bleibt unvollständig, und in den Zügen setzt sich graphitartige, durch das Zerfallen schwerer Kohlenwasserstoffe gebildete Kohle ab. Man hat durch verschiedene Mittel dem Übelstande abzuhelfen gesucht. In einzelnen Fällen vereinigt man die Gase sämtlicher, zu verschiedenen Zeiten beschickter Öfen, bevor sie in die Feuerzüge gelangen, schafft hierdurch Ausgleich und führt dann erst die Gase den einzelnen Öfen wieder zu[1]). Die Einrichtung ist zwar regelmäfsig bei den unten beschriebenen Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse, jedoch nicht gerade häufig bei den bisher besprochenen Öfen in Anwendung. Einfacher ist das bei dem abgebildeten Coppée-Ofen angewendete, von der Firma Dr. Otto & Comp. eingeführte Mittel[2]). Die Kammern sind hier durch Öffnungen *cc* (Abb. 10) in den zwischen den Feuerzügen befindlichen Scheidewänden untereinander in Verbindung gesetzt, so dafs das überschüssige Gas der einen Kammer in die zu anderer Zeit beschickte Nachbarkammer übertreten kann und somit Ausgleich stattfindet.

Die Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse bei der Verkokung der Steinkohlen.

Obgleich schon früher mehrfach Vorschläge und Versuche gemacht wurden, die mit den Gasen der Steinkohlen davongehenden Nebenerzeugnisse — im wesentlichen Teer und Ammoniak — zu

[1]) Beispiel: Dr. von Bauers Verkokungsofen, beschrieben in „Stahl und Eisen" 1899, Seite 361.

[2]) D. R.-P. Nr. 106 959.



die
zur
ebe
bau
we
Un
bin
rec
hal
in
aus
lich

für
letz
hin

Öfe
die
daß
Ab
Ge
der
lich
die
unv
Zei
hat
In
sch
gel
der
mä
erz
Öfe
Ofe
Mit
in
ein
ein
übe

ma
Nel

Eise

gewinnen, hat man doch erst seit etwa 1880 diesem Gegenstande eine seiner Wichtigkeit entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt, nachdem man damals berechnet hatte, dafs allein bei den englischen Eisenwerken, wenn sie jährlich 7 Millionen Tonnen Koks verbrauchen, ein jährlicher Gewinn von 27 Millionen Mark durch die Gewinnung der Nebenerzeugnisse zu erzielen sei[1]). Zu Bessèges in Frankreich hatte man zwar schon seit 1867 und zu Terrenoire seit 1878 Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse (Öfen von Carvès) im Betriebe, aber das Verfahren war vereinzelt geblieben[2]). In Deutschland hat man das Verfahren zuerst um 1882 eingeführt, und seitdem ist die Zahl dieser Anlagen von Jahr zu Jahr gewachsen.

Die Ausbeute an Nebenerzeugnissen hängt selbstverständlich von der Beschaffenheit der verwendeten Steinkohlen ab. Je gasreicher diese sind, desto gröfser ist im allgemeinen auch die Ausbeute, desto vorteilhafter die Gewinnung. Immerhin hat die Erfahrung gezeigt, dafs die kostspielige Anlage für die Gewinnung der Nebenerzeugnisse doch auch bei Verarbeitung jener für die Koksdarstellung in der Jetztzeit vorwiegend benutzten gasarmen Steinkohlen ausreichende Erträge abwerfen kann, um lohnend zu sein.

Bei allen Verkokungsöfen, welche für diese Art des Betriebes bestimmt sind, werden die Gase, bevor sie in die Heizkanäle der Öfen eintreten können, abgesaugt, um in einem besonderen Gebäude ihres Teer- und Ammoniakgehalts beraubt zu werden, und erst dann werden sie zu den Öfen zurückgeführt, welche sie zu heizen bestimmt sind. Die Gase sämtlicher zu einer Gruppe gehörenden Öfen werden hierbei gemischt, und die obenerwähnten Übelstände werden dadurch beseitigt, welche aus der wechselnden Zusammensetzung der Gase eines einzigen Ofens entspringen. Für die Heizung der Öfen genügt fast immer ein Teil der gereinigten Gase, und ein anderer Teil kann für sonstige Zwecke verwendet werden. Eben weil man aber eine geringere Gasmenge zum Heizen der Öfen benutzt, ist auch die Abhitze bei diesen Öfen geringer. In Rheinland-Westfalen rechnet man, dafs die Abhitze für je 1 kg verkohlter Steinkohle bei den Coppée-Öfen 1,35 kg Dampf, bei den Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse nur 1,10 kg Dampf zu erzeugen fähig sei.

Wichtiger noch als bei den Öfen ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse ist die Aufgabe, dafs die Fugen der Ofenwände dicht schliefsen, da jedes Übertreten von Gasen in die Heizkanäle oder von Verbrennungsluft aus den Heizkanälen in den Ofen einen Verlust an den zu gewinnenden Nebenerzeugnissen bedeutet. Daher mufs auch die Gasspannung im Ofen und in den Heizkanälen möglichst gleich sein.

Die anfänglich gehegte Besorgnis, dafs die Beschaffenheit des Haupterzeugnisses der Verkokungsanlage, der Koks, bei Gewinnung

---

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1880, I, Seite 137. Seit jener Zeit ist der Verbrauch der Eisenwerke an Koks nicht unerheblich gestiegen.

[2]) Über einen noch älteren Ofen für den gleichen Zweck (Ofen von Knab) vergl. Dinglers polytechnisches Journal, Bd. 154, Seite 97.

der Nebenerzeugnisse Einbufse erleiden werde, hat sich als unbegründet erwiesen. Das Ausbringen an Koks aber ist in den Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse durchschnittlich um etwa 2 v. H., die Erzeugungsfähigkeit dieser Öfen um mindestens 10 v. H. gröfser als diejenige der gewöhnlichen Öfen. Das günstigere Ausbringen ist zum grofsen Teil durch den Umstand bedingt, dafs bei der gleichbleibenden Zusammensetzung der Gase die Einführung von Luft in den Ofen überhaupt nie erforderlich wird, während man bei den Öfen ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse mitunter Luft durch die Schauöffnungen der Türen eintreten läfst, wenn zu befürchten ist, dafs bei heftiger Gasentwicklung die Verbrennung in den Kanälen unvollständig bleiben werde; die gröfsere Erzeugung wird durch die gleichmäfsigere und leichter zu regelnde Erhitzung der Öfen ermöglicht, welche eine Verkürzung der Verkokungszeit gestattet.

Die Einrichtung der Öfen im einzelnen schliefst sich der Einrichtung der Gewinnung der Nebenerzeugnisse an. Sie haben fast ausnahmslos wagerechte Achse; die Zugführung für die Gase zwischen den Öfen ist teils wagerecht, teils senkrecht; doch sind die Öfen mit senkrechter Zugführung, den oben beschriebenen Coppée-Öfen nachgebildet, ihrer erwähnten Vorteile halber häufiger.

Zu den am meisten verbreiteten Öfen der letzteren Art gehört der in Abb. 11—13 abgebildete Verkokungsofen von Dr. Otto, seiner Einrichtung gemäfs gewöhnlich Unterfeuerungsofen genannt[1]). Aus dem mit drei Füllöffnungen versehenen Verkokungsraume treten die Gase durch je zwei Abzugsöffnungen (Abb. 12) und die darüber befindlichen Steigrohre in die Vorlagen *aa*, welche über die ganze Reihe der Öfen hinweggehen und deren Gase vereinigen. Durch je ein Ventil in jedem Steigerohre läfst sich die Verbindung des Ofeninnern mit der Vorlage in jedem Augenblicke unterbrechen. Aus den Vorlagen werden die Gase nach dem Gebäude hin abgesaugt, in welchem ihre Abkühlung und Reinigung stattfindet, und von dort aus strömen sie zu den Öfen zurück, um hier in das in einem mannshohen Gewölbe angebrachte Verteilungsrohr *b* zu gelangen. Zehn Brenner, den bekannten Bunsenbrennern ähnlich eingerichtet und mit je einem Hahn zur Regelung des Gaszuflusses versehen, führen das Gas in die zwischen je zwei Nachbaröfen senkrecht aufsteigenden Kanäle. Die Verbrennungsluft wird durch die Brenner selbst angesaugt; vorher streicht sie unter der Decke der Gewölbe hin, dabei diese kühlend und sich selbst mäfsig erwärmend. Die Bewegung der Verbrennungsgase zwischen den Öfen ist in Abb. 11 erkennbar. Sie steigen zunächst in etwa 28 Zügen empor, fallen dann durch vier in der Mitte angeordnete Züge abwärts und vereinigen sich in dem unter dem Boden des Ofens befindlichen Abzugskanale *c*, welcher sie dem für alle Öfen gemeinschaftlichen Essenkanale zuführt. Da der Kanal *c* nicht als Heizkanal zu dienen bestimmt ist, bleibt der Umstand ohne Belang, dafs die Gase erst in dessen Mitte eintreten und somit nur seine eine Hälfte bestreichen.

---

[1]) D. R.-P. Nr. 88200.

Abb. 21.

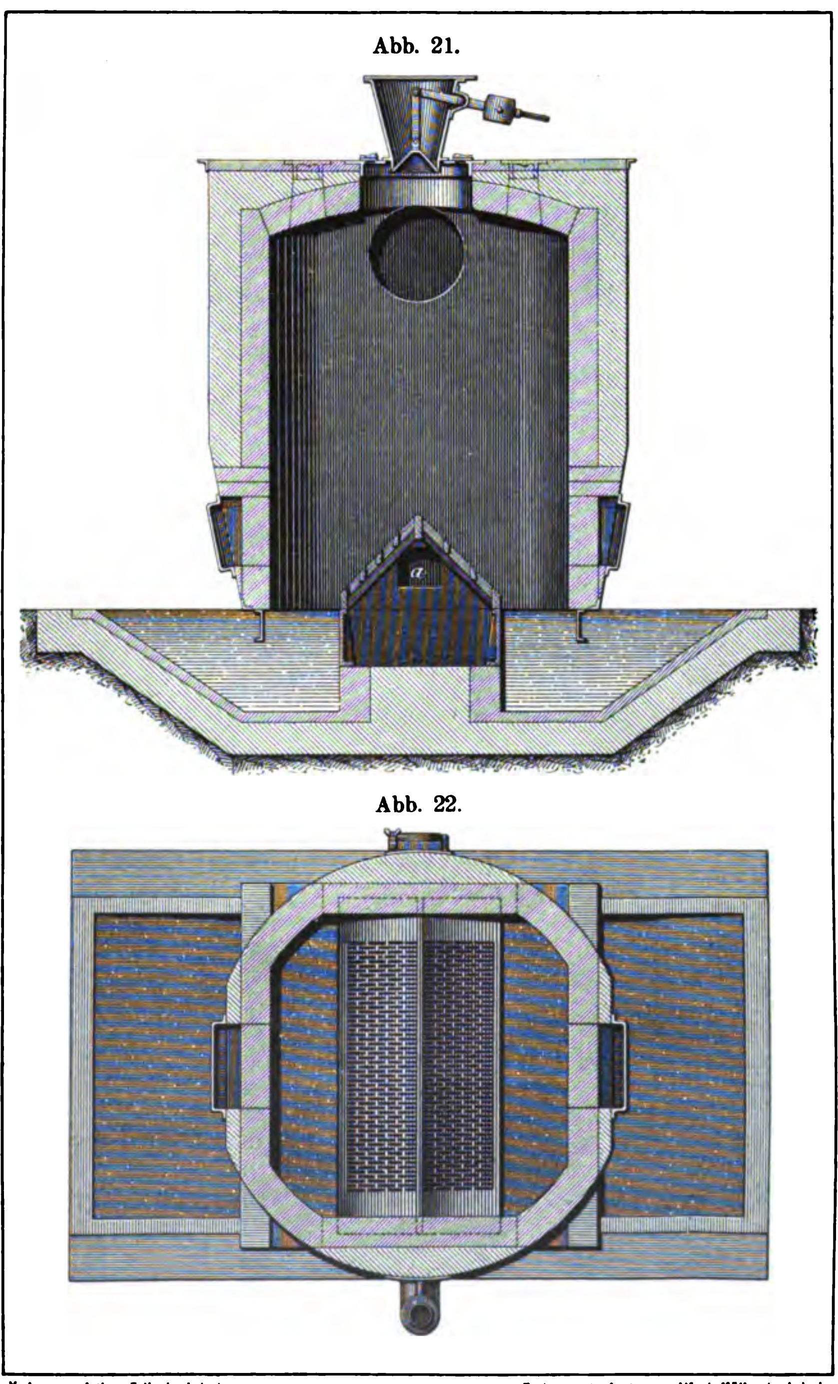


Abb. 22.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Die in Abb. 11 oberhalb des Ofens sichtbaren Kanäle werden beim Anheizen benutzt. Die Brenneröffnungen sind alsdann durch eingesetzte Tonsteine luftdicht geschlossen, auch die Steigröhren auf dem Scheitel der Öfen sind durch Niederlassen ihrer Ventile abgesperrt. Durch ein in dem Ofen bei nur teilweise geschlossener Tür unterhaltenes Feuer werden die Wände allmählich bis auf Hellrotglut erwärmt, wobei die Verbrennungsgase durch die Scheitelöffnungen *dd* austreten, um von hier durch die Kanäle *e* in die senkrechten Feuerzüge zwischen den Öfen und von hier in den Bodenkanal zu gelangen, welcher sie dem Essenkanale zuführt. Damit diese Bewegung möglich sei, ist zuvor der Verschlufsstein zwischen dem Kanale *e* und der Scheitelöffnung *d* (Abb. 13) herausgenommen und dafür bei *ff* (Abb. 11) je ein (in Punkten gezeichneter) Schieber eingesetzt, so dafs die Gase zunächst abwärts, dann wieder aufwärts zu ziehen gezwungen sind, um schliefslich durch die in der Mitte der Öfen befindlichen Züge dem Bodenkanale zugeführt zu werden. Wenn der Ofen sich in Glut befindet, wird er gefüllt, nachdem die Türen geschlossen wurden, und zunächst wie ein Ofen ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse betrieben, wobei die Gase den soeben beschriebenen Weg nehmen und die Verbrennungsluft ihnen durch den Kanal *g* (Abb. 11) mit abwärts gerichteten Öffnungen zugeführt wird. Soll der regelmäfsige Betrieb beginnen, so werden die Schieber bei *ff*, die Ventile der Steigröhren und die Brenner geöffnet, die Verbindungen zwischen *d* und *e* sowie die äufsere Mündung des Luftkanals *g* geschlossen, und die Bewegung der Gase vollzieht sich nun in der früher beschriebenen Weise.

Hinsichtlich der Öfen mit wagerechten Feuerzügen (z. B. Öfen von Semet-Solvay, Hüssener-Carvès) möge auf die am Schlusse des Abschnitts gegebene Literatur verwiesen werden.

Das Verfahren, nach welchem die Gewinnung von Teer und Ammoniak stattfindet, ist nicht überall genau gleich. In jedem Falle werden die Gase zunächst gekühlt, und zwar gewöhnlich auf die Weise, dafs man sie durch Behälter leitet, in denen wassergekühlte Röhren in grofser Zahl angeordnet sind. Teer und Ammoniakwasser werden hier verdichtet. Die Trennung dieser beiden Erzeugnisse findet beim ruhigen Stehen in Bottichen auf Grund der Verschiedenheit ihrer spezifischen Gewichte statt. Aus den Gaskühlern kommend durchströmen die Gase den Exhaustor, welcher sie aus den Öfen absaugt und nach den Heizkanälen der Öfen zurückbefördert, und gelangen alsdann, da sie stets noch ammoniakhaltig sind, nach den Gaswaschern [1]), in welchen sie in ausgedehnte Berührung mit Wasser gebracht werden, um an dieses den Rest ihres Ammoniakgehalts abzugeben. Die Einrichtung dieser Gaswascher ist so getroffen, dafs das Gas und das zur Aufnahme des Ammoniaks bestimmte Wasser in entgegengesetzter Richtung sich begegnen und das Wasser in zahlreiche feine Strahlen oder

[1]) Die Anordnung des Exhaustors ist nicht überall gleich. Bei älteren Anlagen befindet er sich erst hinter den Gaswaschern; mitunter ist er auch zwischen den letzteren eingeschaltet.

Tropfen verteilt wird (z. B. durch Hinabrieseln über gelochte Bleche, welche in einem Behälter übereinander angeordnet sind). In jedem Falle stehen mehrere Gaswascher so miteinander in Verbindung, dafs das aus dem letzten austretende Gas nur mit reinem Wasser in Berührung tritt, während umgekehrt das in den ersten Wascher eintretende Gas auf das Wasser trifft, welches bereits die übrigen Behälter durchströmt und hierbei Ammoniak aufgenommen hatte (Gegenstromgesetz, vergleiche S. 63). In den Waschern wird nicht allein den Gasen der ganze Rest ihres Ammoniakgehalts entzogen, sondern auch noch Teer zur Ausscheidung gebracht.

Die ersten Erzeugnisse des Verfahrens sind demnach Teer und Ammoniakwasser.

Das Ammoniakwasser benutzt man zur Darstellung von schwefelsaurem Ammon. Zu diesem Zwecke wird es in geschlossenen Gefäfsen verschiedener Einrichtung der Einwirkung entgegenströmenden Dampfes ausgesetzt, welcher das im freien Zustande gelöste Ammoniak austreibt; durch Zusatz von Kalkmilch zu dem abfliefsenden Wasser werden alsdann die noch gelöst gewesenen Ammoniaksalze zersetzt, worauf man das hierbei freigewordene Ammoniak ebenfalls durch Dampf austreibt. Die Ammoniakdämpfe werden nunmehr in einem mit Bleiplatten ausgeschlagenen Behälter in Berührung mit starker Schwefelsäure gebracht, welche das Ammoniak aufnimmt. Schwefelsaures Ammon scheidet sich aus der Flüssigkeit aus, wird, sobald die vorhandene Säure gesättigt ist, ausgeschöpft und auf Abtropfbühnen zum Trocknen aufgeschüttet. Durch ein besonderes Verfahren entzieht man den Gasen häufig noch ihren Benzolgehalt; auch der Teer wird durch Destillation nicht selten auf Benzol verarbeitet. Der aus heifsgehenden Öfen erfolgende Teer ist reicher an Benzol als der in wenig hoher Temperatur erzeugte [1]).

Die Ausbeute an schwefelsaurem Ammon aus 100 kg trockenen Steinkohlen beträgt bei Verkokung westfälischer Kohlen etwa 1,1 kg, oberschlesische Kohlen liefern bis 1,8 kg schwefelsaures Ammon, Saarkohlen nur etwa 0,8 kg. Die Ausbeute an Teer beträgt in Westfalen etwa 2,5 kg, in Oberschlesien 4,3 kg, im Saargebiete ebenfalls 4,2 kg; Koks erfolgen in Westfalen durchschnittlich 76 kg, in Oberschlesien 68 kg, im Saargebiete 70 kg. Der Bedarf des Weltmarkts an Teer und Ammoniak ist so beträchtlich, dafs auch bei Vermehrung der jetzt vorhandenen Anlagen für ihre Gewinnung vorläufig kaum eine Zuvielerzeugung zu befürchten ist.

Die Kosten der Anlage betragen bei Gewinnung der Neben-

---

[1]) Die Beschreibung des Verfahrens der Gewinnung der Nebenerzeugnisse, welches dem Gebiete der Eisenhüttenkunde nicht mehr angehört, konnte hier nur in gedrängter Kürze gegeben werden. Für ausführliche Belehrung sind folgende Schriften empfehlenswert: G. Lunge, Die Industrie des Steinkohlenteers und Ammoniaks, 4. Aufl., bearbeitet von H. Köhler, Braunschweig 1899; „Stahl und Eisen" 1883, Seite 403 (Hüssener), 1884, Seite 396 (Otto), 1889, Seite 482, 1892, Seite 186 (Lürmann); Journal of the Iron and Steel Institute 1884, Seite 486 (Smith); Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preufsischen Staate, Bd. 1896, Seite 415 (Simmersbach); „Stahl und Eisen" 1898, Seite 747 (Terhaerst).

erzeugnisse das Doppelte bis Zweieinhalbfache der Anlagekosten ohne diese Gewinnung.

Arbeiten an den Verkokungsöfen.

Für den Betrieb der Verkokungsöfen ist eine Anzahl von Hilfsgeräten erforderlich, teils zum Füllen, teils zum Entleeren bestimmt.

Zum Herbeifahren der zu verkokenden Steinkohlen und Einfüllen in den Ofen pflegt man vierseitig trichterförmige Wagen zu benutzen, deren Boden aus einem Schieber besteht (vergleiche Abb. 8). Ist der Wagen über der geöffneten Füllöffnung angelangt, so wird der Schieber geöffnet, und die Kohlen stürzen in den Ofen. Mit langen Krücken wird dann die Kohlenschicht geebnet. Zur Erleichterung dieser Arbeit läfst man bisweilen die Türen der liegenden Verkokungsöfen, sofern sie seitlich aufschlagen, aus zwei Teilen bestehen, deren oberer zum Einbringen der Krücken geöffnet werden kann, während der untere geschlossen bleibt. Die Wagen laufen auf Schienen, welche auf dem Scheitel der Öfen liegen und quer über die Ofenbatterie hinwegführen. Bei der Anlage der Öfen ist demnach Vorsorge zu treffen, dafs die von der Aufbereitungsanstalt oder dem Abladeplatze der Steinkohlen kommenden Wagen ohne Schwierigkeit auf die Höhe der Ofenscheitel gelangen können.

Vor dem Einfüllen werden die Kohlen genäfst, wie schon auf S. 86 unter Angabe des Grundes erwähnt wurde.

Ist man jedoch gezwungen, schlecht backende Kohlen (gasreiche Sinterkohlen oder gasarme Magerkohlen) zu verkoken, so würde es unmöglich sein, daraus feste, grofsstückige Koks zu erhalten, wenn man sie in der erwähnten Weise lose in den Ofen einschütten wollte. Viele dieser Kohlen aber lassen sich noch gut für die Verkokung verwerten, wenn man aus ihnen, nachdem sie in gewöhnlicher Weise zerkleint und angefeuchtet wurden, durch starken Druck oder durch Stampfen ein zusammenhängendes Kohlenprisma bildet, dessen Teilchen sich innig berühren und wegen dieser innigeren Berührung beim Erhitzen sich zu ganzen Stücken vereinigen. Der Gedanke des Verfahrens ist zuerst durch Lürmann im Jahre 1880 angeregt worden[1]); zu ausgedehnterer Anwendung ist es erst in den neunziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts gelangt. Anfänglich formte man das Kohlenprisma im Ofen selbst; jetzt ist es allgemein üblich, das Einformen vor dem Ofen vorzunehmen und das Prisma auf einer eisernen Platte mit Hilfe einer Zahnstange oder Schraube hineinzuschieben. Wird alsdann die Koksofentür bis auf einen kleinen Spalt unterwärts geschlossen, so läfst sich die eiserne Platte darunter hinweg wieder herausziehen, während das Kohlenprisma im Ofen zurückbleibt. Zur Ausführung der Arbeit sind verschiedene Einrichtungen getroffen worden, hinsichtlich deren Einzelheiten auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden möge[2]). Als Form dient ein eiserner Kasten, dessen

---

[1]) D. R.-P. Nr. 13021 vom 8. Juni 1880.

[2]) Abbildungen von Kohlenstampfmaschinen enthalten u. a. die Abhand-

Seitenwände niedergeklappt oder sonstwie entfernt werden können; das Einformen geschieht meistens durch Stampfen, seltener durch Pressen. Anfänglich benutzte man zum Einstampfen nur Handarbeit; jetzt ist meistens Maschinenarbeit mit elektrischem Antrieb an deren Stelle getreten. Auch die Beförderung des Kohlenprismas in den Ofen und das Zurückziehen der Bodenplatte erfolgt durch Maschinenbetrieb. Das Ganze steht auf einem Wagen, welcher auf Schienen von einem Ofen zum anderen gerollt werden kann. Um das Einfüllen der Kohlen in die Form zu erleichtern, hat man häufig oberhalb der Stampfmaschine eine Plattform in der Höhe der Ofenscheitel angebracht, welche durch übergelegte Schienen leicht mit den Schienengleisen auf den Öfen verbunden werden kann. Die mit den Kohlen beladenen Wagen werden alsdann auf die Plattform gefahren, um von hier aus in die darunter befindliche Form entleert zu werden. Zum Einformen der Füllung eines Ofens mit der Maschine einschliefslich der Fortbewegung bis zum nächsten Ofen sind 20—30 Minuten bei einem Arbeitsverbrauch von je 1 bis 1½ Pferdestärken erforderlich[1]); bei Handarbeit vermögen fünf bis acht Arbeiter in etwa 45 Minuten die gleiche Leistung zu vollbringen.

Die Entleerung der Öfen mit senkrechter Achse wird durch Öffnen einer den unteren Verschlufs bildenden Klappe bewirkt, wobei die Koks in einen bereitstehenden Wagen hineinstürzen; bei allen Öfen mit wagerechter Achse dagegen durch eine Koksausdrückmaschine.

Sie besteht, wie die Abbildungen 14 und 15 a. f. S. erkennen lassen[2]), aus einem gufseisernen Schilde *a* an dem den Öfen zugekehrten Ende einer langen, wagerechten, den Ofenachsen gleichlaufenden Zahnstange, welche durch Kurbel und Getriebe mit mehrfachen Übersetzungen vorwärts in die geöffnete Kammer hinein bewegt wird, solcherart das Koksprisma vor sich her und aus dem entgegengesetzten Ende des Ofens hinausschiebend. Die ganze Vorrichtung ist auf einem eisernen, auf Schienen laufenden Wagen angeordnet, welcher bequem von einem Ofen zum anderen bewegt und nach der Reihe zur Bedienung sämtlicher Kammern benutzt werden kann.

Der Betrieb erfolgt nur ausnahmsweise von Hand durch mehrere an der Kurbel stehende Arbeiter; häufiger, wie bei der abgebildeten Maschine, durch eine eigene Dampfmaschine *b*, welche nebst dem zugehörigen Dampfkessel *c* auf dem Wagen selbst angeordnet ist und bei einer Leistungsfähigkeit von 15—20 Pferdestärken die Arbeit in weit kürzerer Zeit verrichtet (etwa zwei Minuten für Hin- und Rückgang), als es durch Menschenarbeit möglich ist. Gewöhnlich wird durch die Dampfmaschine auch die Fortbewegung des Wagens bewirkt. Bei der abgebildeten Maschine wird, sobald der Wagen von einem Ofen zum anderen gefahren

---

lungen in „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 1078; 1900, Seite 1248; 1903, Seite 1205 und 1374.

[1]) „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 1253.

[2]) Koksausdrückmaschine, von Heintzmann & Dreyer in Bochum gebaut.

werden soll, die Zahnstange so weit zurückgeschoben, dafs das für ihre Bewegung dienende Getriebe *d* (Abb. 15) aufser Eingriff kommt, und hierauf die Klauenkuppelung *e* eingerückt, so dafs die Bewegung der Dampfmaschine nunmehr durch Vermittelung der beiden links neben *e* sichtbaren Winkelräder auf die wagerechte Welle übertragen wird, auf welcher die vorderen Laufräder des Wagens befestigt sind. Soll die Wagenbewegung aus- und die

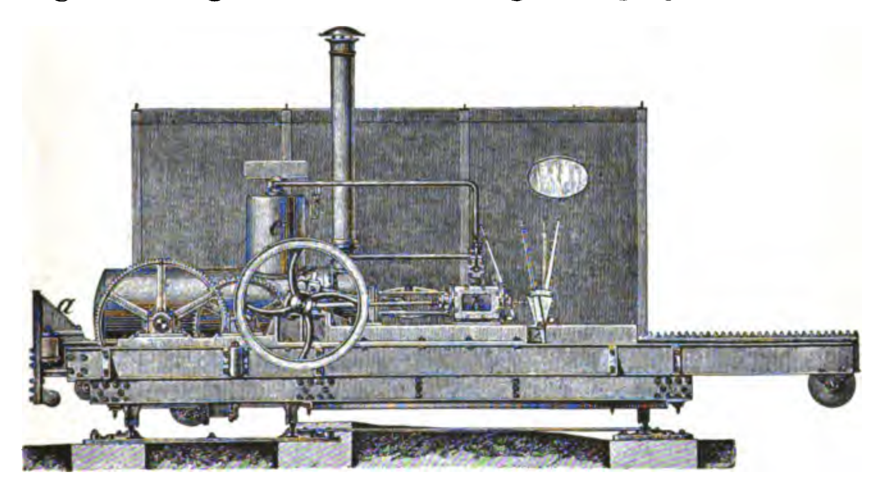


Abb. 14.

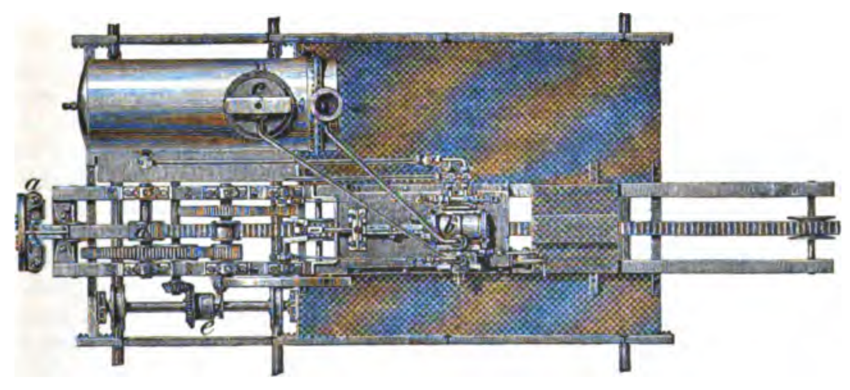


Abb. 15.

Bewegung des Schildes wieder eingerückt werden, so schiebt man, nachdem die Klauenkuppelung aufser Eingriff gebracht worden ist, die Zahnstange mit Hilfe einer Brechstange so weit nach links vor, dafs das Getriebe *d* wieder in Eingriff kommt. Die Vor- und Rückwärtsbewegung des Schildes und des Wagens wird bei der abgebildeten Maschine durch Umsteuerung der Dampfmaschine bewirkt. Vielfach ist an Stelle des Betriebes durch Dampfkraft neuerdings elektrischer Antrieb für die Bewegung des Schildes

und Wagens in Anwendung gekommen, so dafs die Dampfmaschine nebst Kessel entbehrlich wird.

Da die Schienen, auf denen der Wagen läuft, den ganzen Druck des Koksprimas auszuhalten haben, müssen sie in haltbarer Weise befestigt sein, und man versieht deshalb den Wagen mit drei Räderpaaren, auf drei Schienensträngen laufend; damit der Wagen auch bei der äufsersten Stellung des Schildes nicht sein Gleichgewicht verliere, mufs er ausreichend breit sein. Die Stange, an welcher das Schild befestigt ist, gleitet auf Rollen, die im Wagen gelagert sind.

Für die Aufstellung und Bewegung der Koksausdrückmaschine wird ein entsprechend breiter Raum an derjenigen Seite der Koksofenreihe freigehalten, von welcher aus das Ausdrücken erfolgen soll, und an der gegenüberliegenden Seite wird eine, von den Öfen her um einige Grade abfallende Ebene von mindestens 12 m Breite zur Aufnahme der herauskommenden Koks eingerichtet, welche mit harten Ziegeln in Rollschichten gepflastert oder mit Eisenplatten belegt wird. Zum Ablöschen der glühenden Koks, damit sie nicht an der Luft teilweise verbrennen, werden auf dieser Ebene den Öfen gegenüber mehrere Hochdruckwasserständer mit Schlauchhähnen aufgestellt.

Für die Abfuhr der Koks benutzt man gern, wo es angeht, eine tiefer gelegene Ebene, so dafs die Oberkante der für diesen Zweck bestimmten Wagen nicht höher liegt als jene Rampe, auf der die Koks lagern, und man leicht imstande ist, die Koks in die Wagen hinein zu schaufeln. In anderen Fällen dienen Becherwerke (Paternosterwerke) oder sonstige Maschinen für die Verladung.

Eigenschaften der Koks.

Während der Verkokung backen die Kohlen zu einem Kuchen zusammen, welcher beim späteren Schwinden und bei der Bewegung aus dem Ofen von senkrechten Rissen durchsetzt wird. Die einzelnen entstehenden Koksstücke nehmen hierbei basaltartige Form an, sind jedoch, besonders wenn sie aus gasreicheren Kohlen gewonnen wurden, häufig mit traubenartigen Bildungen, von der Graphitablagerung bei Zersetzung von Kohlenwasserstoffen herrührend, überzogen. Für die Dichtigkeit der Koks ist teils die Beschaffenheit der benutzten Steinkohlen, teils die Ofentemperatur und die Einrichtung des Ofens mafsgebend, wie früher erläutert wurde; ebenso für die Widerstandsfähigkeit gegen das Zerdrücktwerden, welche bei den im Eisenhüttenbetriebe verwendeten Koks zwischen 80—160 kg auf 1 qcm zu schwanken pflegt[1]). Eine geringe Widerstandsfähigkeit erhöht den Abrieb beim Verladen, während des Fahrens, beim Ausladen, welcher bei harten Koks im Mittel etwa 6 v. H. des Koksgewichts beträgt, bei leichten, porigen Koks aber sich erheblich höher beziffern kann.

Die Farbe der Koks ist lichtgrau mit Metallglanz bis mattschwarz. Nicht selten betrachtet man erstere Farbe als Merkmal einer guten Beschaffenheit, jedoch ist das Kennzeichen keineswegs

[1]) „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 157 (Simmersbach).

zuverlässig. Die Art und Weise des Ablöschens, selbst die Beschaffenheit des dafür benutzten Wassers ist von Einflufs auf das Aussehen. Wenn das Wasser feste Körper gelöst enthält, welche auf den Koks sich ablagern, so können diese ein unscheinbares Äufsere dadurch erhalten.

Wie die Holzkohlen zeigen die Koks bei der chemischen Untersuchung einen Gehalt an flüchtigen Körpern, ohne dafs man stets imstande wäre, nachzuweisen, ob diese aus der Steinkohle zurückgeblieben waren oder sich erst an der Oberfläche der erkalteten Koks verdichtet hatten[1]. Geringer als in der Holzkohle ist der Feuchtigkeitsgehalt, welcher bei guten Koks nicht über 6 v. H. hinausgehen sollte, mitunter nicht mehr als 3 v. H. beträgt, in porigen, mit viel Wasser abgelöschten Koks allerdings auf mehr als 15 v. H. steigen kann; beträchtlicher als in Holzkohlen ist der Aschengehalt, welcher 15 v. H. und darüber betragen kann. Koks mit mehr Asche als 12 v. H. verwendet man jedoch im Eisenhüttenbetriebe nur ausnahmsweise. Ein hoher Aschengehalt verringert nicht nur unmittelbar, indem er den Kohlenstoffgehalt der Koks erniedrigt, den Wert der Koks, sondern erfordert auch bei der Verwendung der Koks zu Schmelzverfahren eine entsprechend reichliche Menge von Zuschlägen, um schmelzbare Schlacken zu bilden, welche dann zum Schmelzen einer gröfseren Wärmemenge bedürfen. In mehrfacher Hinsicht schädigt er demnach die Brauchbarkeit der Koks.

Von Bedeutung für die Verwendbarkeit der Koks ist ferner ihr Schwefelgehalt. Alle Steinkohlen enthalten Schwefel, welcher zum Teile als Bestandteil eingesprengter Mineralien, zum anderen Teile als Bestandteil der Kohlenmasse selbst (als organischer Schwefel) auftritt. Durch die Aufbereitung der Steinkohlen läfst sich ein grofser Teil der schwefelführenden Mineralien abscheiden; eine vollständige Absonderung ist jedoch so wenig möglich als die Entfernung aller Aschenbestandteile. Bei der Verkokung nun entlassen die zurückgebliebenen Kiese, gröfstenteils Schwefelkies und Strahlkies, welche beide nach der Formel FeS_2 zusammengesetzt sind, einen anderen Teil des ursprünglichen Schwefelgehalts, wobei sie sich in Verbindungen umwandeln, deren Zusammensetzung zwischen Fe_5S_9 und Fe_2S_3 schwanken kann; auch von dem organischen Schwefel wird ein Teil, mitunter ein beträchtlicher Teil, verflüchtigt, während ein anderer Teil in den Koks zurückbleibt.

In jedem Falle findet demnach auch bei der Verkokung teilweise Entschwefelung statt, und diese Tatsache ist von Wichtigkeit. Ganz schwefelfrei sind jedoch die Koks niemals; dafs sie trotz jener Entschwefelung mitunter einen noch gröfseren Schwefelgehalt

[1]) Manche veröffentlichte Ergebnisse der Untersuchung dieser flüchtigen Körper berechtigen zu ernsten Zweifeln an ihrer Richtigkeit. Wenn z. B. einige Chemiker einen Sauerstoffgehalt von mehr als 1 v. H., mitunter bis 7 v. H. gefunden zu haben glauben, so würde doch dieser Sauerstoffgehalt in der Temperatur der Verkokungsöfen unmöglich neben dem Kohlenstoff bestanden haben können, ohne sich damit zu Kohlenoxyd zu vereinigen; dafs aber der erkaltete Koks jenen beträchtlichen Sauerstoffgehalt aus der Luft verdichtet haben sollte, ist ebenso unwahrscheinlich.

als die Steinkohlen besitzen, aus welchen sie erzeugt werden, erklärt sich ohne Schwierigkeit, wenn man erwägt, dafs aus 100 Gewichtsteilen Steinkohlen nach Mafsgabe ihrer Zusammensetzung nur 65 bis höchstens 80 Gewichtsteile Koks erfolgen können[1]). Demnach beträgt der Schwefelgehalt auch der vorzüglichsten Koks selten weniger als 0,5 v. H.; die meisten guten brauchbaren Koks enthalten etwa 1 v. H. Schwefel; Koks mit mehr Schwefel als 2 v. H. sind für den Eisenhüttenbetrieb nicht mehr geeignet.

Als mittlere Zusammensetzung guter Koks kann man demnach annehmen:

Kohlenstoff	Flüchtige Körper (aufser Feuchtigkeit)	Feuchtigkeit	Asche	Schwefel
84	2,0	5,0	8,0	1,0

Die Asche der Koks besteht wie die der Steinkohlen, aus denen die Koks erfolgten, vornehmlich aus Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd; daneben enthält sie alkalische Erden, geringe Mengen Phosphorsäure und Alkalien. Im Mittel kann man etwa folgende Zusammensetzung annehmen:

Kieselsäure	45	v. H.
Tonerde	25	" "
Eisenoxyd	20	" "
Kalkerde	5	" "
Manganoxydul, Magnesia u. a. m.	5	" "
Zusammen	100	Teile.

1 cbm Koks in Stücken wiegt 350—450 kg.

4. Flüssige Brennstoffe.

Obgleich diese Brennstoffe seltener sind als die festen, besitzen sie doch in einigen Gegenden der Erde für den Eisenhüttenbetrieb Bedeutung.

Vornehmlich haben das Erdöl (Petroleum) und die bei dessen Läuterung entstehenden Nebenerzeugnisse in den Gegenden Wichtigkeit als Brennstoffe erlangt, wo sie im grofsen gewonnen werden (Pennsylvanien, Baku am Kaspischen Meere), oder wohin die Verfrachtung ohne bedeutende Erhöhung des Preises bewirkt werden kann. Das rohe Erdöl, welches im Mittel etwa 85 v. H. Kohlenstoff, 14 v. H. Wasserstoff, 1 v. H. Sauerstoff enthält, besteht aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen, deren gesamter Brennwert gröfser ist als derjenige der vorzüglichsten Steinkohle[2]), welche aber verschiedene Verdampfungs- und Entzündungstemperatur besitzen. Durch schrittweise Verdampfung in steigender Temperatur werden sie in verschiedene Gruppen geschieden. Bei Temperaturen unter 80° C. gehen Petroleumäther, Gasolin und andere leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe über, welche für verschiedene

[1]) Über das Verhalten des Schwefels bei der Verkokung der Steinkohlen vergleiche: Dr. Muck, Die Chemie der Steinkohle, Leipzig 1891, sowie eine Abhandlung desselben Verfassers in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 468.

[2]) H. Deville fand die Wärmeleistung verschiedener Erdölsorten im rohen Zustande schwankend zwischen 9590—10831 W.-E. (Comptes rendus Bd. 66, Seite 442; Bd. 68, Seite 349, 485, 686).

Zwecke Benutzung finden; bei 82—150° Naphta[1]), eine Flüssigkeit von 0,71—0,74 spezifischem Gewicht; bei 150—300° wird das gereinigte, vornehmlich für die Beleuchtung dienende Petroleum gewonnen, und bei dessen Verflüchtigung hinterbleiben Rückstände in Form einer bei 4° C. dicken, bei Erwärmen auf etwa 40° C. dagegen leichtbeweglichen Flüssigkeit, welche ein spezifisches Gewicht von 0,84 besitzt und bei 175° C. sich entzündet[2]).

Diese Rückstände, welche Naphtarückstände oder Rohnaphta, in Baku Masut (Massud) genannt werden, sind es vornehmlich, welche als Brennstoff im grofsen Verwendung finden, während die eigentliche Naphta mehr als Heizstoff im Haushalte, aufserdem als Reinigungsmittel (Fleckwasser) und für sonstige Zwecke benutzt wird. Sie entwickeln bei ihrer Verbrennung eine sehr bedeutende Wärme, ermöglichen ohne Schwierigkeit die Erzielung einer rauchlosen Verbrennung, hinterlassen keine Asche, und die damit geheizten Feuerungen erfordern wenig Bedienung. Die Naphtarückstände bilden demnach einen in mehrfacher Hinsicht wertvollen Brennstoff. Man gibt an, dafs ihre Verwendung noch lohnend sei, wenn ihr Preis an der Verbrauchsstätte den 2,6 fachen Preis der gleichen Gewichtsmenge Steinkohlen nicht übersteigt[3]). Die Einrichtung der Feuerungen ist verschieden. Häufig bedient man sich eines Dampf- oder Luftstrahls, um die durch ein Rohr zutretende Flüssigkeit zu zerstäuben und durch eine entsprechend geformte Düse (in Baku Forsunka genannt) in den Verbrennungsraum einzuführen[4]). Die hier zutretende Verbrennungsluft wird in der Regel in Kanälen des umgebenden Mauerwerks vorgewärmt. Auf anderen Werken läfst man den flüssigen Brennstoff tropfenförmig aus mehreren senkrechten Röhren in den vorher geheizten Verbrennungsraum niederfallen, wo die Luft zugeführt wird und die sofort gebildeten Dämpfe unter Bildung einer langen Flamme verbrennt[5]); oder man benutzt einen der im IV. Abschnitte beschriebenen Öfen mit Wärmespeichern und läfst den Brennstoff in die glühenden Wärmespeicher eintropfen, um ihn hier zu verdampfen und mit der zutretenden Luft in den Ofen zu führen[6]).

Bisweilen, aber im ganzen doch selten, dient auch Teer als Heizstoff im Eisenhüttenbetriebe, sofern er als unverwertbares Nebenerzeugnis bei anderen Verfahren erfolgt. Seine Wärme-

---

[1]) Der Ausdruck umfafst wieder ein Gemisch verschieden zusammengesetzter Körper, welche sich trennen lassen, wenn man die Verflüchtigung in noch mehr Abschnitten ausführt. Näheres hierüber findet der Leser in den Handbüchern der chemischen Technologie.

[2]) Die Angaben hierüber sind ziemlich verschieden. Nach einer Mitteilung in „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 1431 ist das spezifische Gewicht 0,91 und die Entzündungstemperatur 110°. Die Wärmeleistung wird in dieser Abhandlung zu 10700 W.-E. angegeben; die Zusammensetzung = 87,5 v. H. Kohlenstoff, 11 v. H. Wasserstoff, 1,5 v. H. Sauerstoff.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 917.

[4]) Einiges Nähere hierüber: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 46; „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 738; 1900, Seite 426; 1904, Seite 1430.

[5]) Abbildung einer solchen Feuerung: „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 426.

[6]) Abbildung: „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 916.

leistung ist erheblich; guter Steinkohlenteer entwickelt 8500—9000 W.-E. Da er jedoch fast immer lohnendere Verwendung für andere Zwecke finden kann, benutzt man häufiger den minderwertigeren Braunkohlenteer, welcher z. B. bei der unten besprochenen Luftgaserzeugung aus Braunkohlen bisweilen als Nebenerzeugnis erfolgt. Die Verbrennung kann in gleicher oder ähnlicher Weise wie die der Naphtarückstände bewerkstelligt werden; Braunkohlenteer pflegt man nur in Öfen, welche ohnehin mit anderen, festen oder gasförmigen, Brennstoffen geheizt werden, neben diesen zu verwenden [1]).

5. Gasförmige Brennstoffe und ihre Gewinnung.

a) Allgemeines.

Die Benutzung gasförmiger Brennstoffe für Zwecke des Haushalts oder der Gewerbe in Fällen, wo die Erde ohne weiteres solche Brennstoffe lieferte, ist schon sehr alt. In China sollen brennbare, dem Schofse der Erde entströmende Gase schon vor mehreren tausend Jahren zum Salzsieden benutzt worden sein [2]). Auch die aus der Gicht der Eisenhochöfen hervorschlagende Flamme, durch verbrennendes Kohlenoxydgas gebildet, welches im Innern des Hochofens als Erzeugnis einer unvollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs entstand, wurde seit Jahrhunderten zum Trocknen von Gufsformen, die ringsherum aufgestellt wurden, und für andere Nebenzwecke benutzt; aber die absichtliche Erzeugung gasförmiger Brennstoffe aus festen ist erst eine Erfindung des 19. Jahrhunderts. Die Anregung dazu gab die von Faber du Faur in den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts gemachte, in der zweiten Abteilung dieses Buches ausführlicher besprochene Erfindung, die Gase des Eisenhochofens, welche man bis dahin frei an der Gicht verbrennen liefs, im unverbrannten Zustande aufzufangen, in Röhren fortzuleiten und an einem beliebigen anderen Orte zum Zwecke der Wärmeerzeugung zu verbrennen. Man erkannte hierbei die Vorteile, welche die Benutzung gasförmiger Brennstoffe überhaupt zu gewähren vermag, und ging nunmehr alsbald dazu über, diese künstlich aus festen Brennstoffen zu erzeugen. Seit jener Zeit haben die gasförmigen Brennstoffe eine von Jahrzehnt zu Jahrzehnt wachsende Bedeutung für die gesamte Gewerbtätigkeit und ganz besonders auch für den Eisenhüttenbetrieb erlangt.

Dafs die Verwendung brennbarer Gase, welche von der Natur geliefert werden, oder welche als Nebenerzeugnisse anderer Verfahren entstehen, z. B. der erwähnten Hochofengase, wirtschaftlich vorteilhaft sein kann, bedarf keines Beweises. Weniger einfach gestaltet sich die Beantwortung der Frage, weshalb die zuvorige Umwandlung fester Brennstoffe in gasförmige in zahlreichen Fällen sich vorteilhafter erweist als ihre unmittelbare Verbrennung.

---

[1]) Beispiel einer solchen Feuerung: „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 9.

[2]) Abbildung einer mit Gas geheizten chinesischen Siedepfanne aus dem 17. Jahrhundert: Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 2.

Zunächst kommt hier in Betracht, daſs die Regelung der zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung erforderlichen Luftmenge leichter bei Benutzung gasförmiger als fester Brennstoffe zu bewirken ist. Man denke sich z. B. eine Schüttung von festen Brennstoffen, Steinkohlen, Braunkohlen oder anderen, auf einem Roste verbrennend. Die Verbrennungsluft muſs zwischen den einzelnen Stücken des Brennstoffs hindurch ihren Weg nehmen; ihre Menge hängt unter übrigens gleichen Verhältnissen von den Widerständen ab, welche sie hier findet. Diese Widerstände wachsen mit der Höhe der Schüttung; sie sind unmittelbar nach dem Aufschütten gröſser, als wenn bereits ein Teil des Brennstoffs verzehrt wurde. Demgemäſs ändert sich auch die Menge der zutretenden Luft. Um trotzdem eine tunlichst vollständige Verbrennung zu erzielen, richtet man die Zugverhältnisse der Heizvorrichtung so ein, daſs in allen Zeitabschnitten der Verbrennung eine genügende Luftmenge Zutritt findet; die Folge davon ist der Verbrauch eines sehr groſsen Überschusses an Luft. Die Analysen der sogenannten Rauchgase lehren uns, daſs in derartigen Feuerungen eine vollständige Verbrennung nur mit der doppelten Luftmenge erzielt wird, als theoretisch erforderlich sein würde, und nicht selten ist das Verhältnis noch gröſser[1]). Jeder Luftüberschuſs aber erniedrigt nach Früherm die Verbrennungstemperatur, wodurch die Wärmeabgabe an den zu erhitzenden Körper erschwert wird (S. 63), und erhöht die Wärmeverluste durch Vermehrung der aus dem Ofen abziehenden Gasmenge, welche Wärme davonführt. Er wirkt also in mehrfacher Beziehung nachteilig. Ist der Brennstoff gasförmig und wird mit der zutretenden Luft gemischt, so fallen jene bei der Verbrennung auf dem Roste unvermeidlichen Unregelmäſsigkeiten des Luftzutritts weg, und man kann mit geringerem Luftüberschusse eine vollständige Verbrennung erzielen[2]).

Gas und Luft aber lassen sich leicht miteinander mischen, wodurch ebenfalls die Verbrennung bei verhältnismäſsig geringem Luftüberschusse erleichtert wird.

Endlich aber besitzt man bei Gasfeuerungen in der Vorwärmung von Gas und Luft ein erfolgreiches Mittel, die Verbrennungstemperatur in starkem Maſse zu steigern, wodurch wiederum die Wärmeabgabe und die Ausnutzung des Brennstoffs begünstigt wird. Bei Verbrennung fester Brennstoffe auf dem Roste würde jene Vorwärmung, insbesondere die Vorwärmung der Luft (die in der Tat öfters versucht worden ist), zwecklos sein. Die chemische Tätigkeit des Sauerstoffs der Luft wird zwar durch die Erwärmung

---

[1]) Analysen von Rauchgasen: Dinglers polyt. Journal, Bd. 219, Seite 281, Bd. 232, Seite 337; F. Fischer, Feuerungsanlagen für häusliche und gewerbliche Zwecke, Karlsruhe 1889, Seite 19; Hanns von Jüptner, Heizversuche von Kesselfeuerungen, Leipzig 1894 (Sonderabdruck aus der Österreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1894).

[2]) Nach von Balzberg sollen die Verbrennungsgase einer gut geleiteten Gasfeuerung 15—17 v. H. Kohlendioxyd, höchstens 3 v. H. freien Sauerstoff und kein Kohlenoxyd enthalten (Katechismus der Gasfeuerung, Ischl 1885, Seite 31); von Jüptner und Toldt fanden dagegen bei drei Versuchen an Martinöfen 11—12 v. H. Kohlendioxyd und 5,6—6,8 v. H. freien Sauerstoff (Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1888, Seite 386 und 1890, Seite 428).

gesteigert; die nächste Folge aber davon ist, dafs von den auf dem Roste lagernden Kohlen eine gröfsere Menge als zuvor durch die gleiche Menge Sauerstoff verbrannt wird, d. h. dafs mehr Kohlenoxydgas als zuvor entsteht. Der unverzehrt bleibende Sauerstoff der zwischen den Rostspalten aufsteigenden Luft reicht nicht mehr aus, dieses Kohlenoxyd und die bei der Zerlegung roher Brennstoffe entstehenden brennbaren Gase (Kohlenwasserstoff, Wasserstoff) zu verbrennen, und die Verbrennung wird unvollständiger.

Die Vorteile der Gasfeuerungen im Vergleiche zu der Verbrennung auf dem Roste beruhen also auf der Möglichkeit, leichter und mit geringerem Luftüberschusse eine vollständige Verbrennung und zugleich eine hohe Verbrennungstemperatur zu erzielen. Beide Umstände aber begünstigen die Ausnutzung des Brennstoffs.

Noch ehe man über die Ursachen ganz im klaren war, hatte man diesen Erfolg durch die Erfahrung erkannt. Brennstoffe, welche bei der Verbrennung auf dem Roste sich wegen zu niedriger Verbrennungstemperatur als nicht benutzbar für dieses oder jenes Verfahren erwiesen, liefsen sich für das gleiche Verfahren mit Vorteil verwenden, nachdem man sie in Brenngas umgewandelt und die Verbrennungsluft entsprechend vorgewärmt hatte. Gerade diese Beobachtung verschaffte den Gasfeuerungen in den ersten Jahrzehnten nach ihrer Einführung eine rasche Verbreitung. Dafs ein aus wasserreichen Brennstoffen dargestelltes und deshalb selbst wasserreiches Brenngas besonders dann auch für Erzielung hoher Temperaturen benutzbar wird, wenn man ihm durch Abkühlung seinen Wassergehalt entzieht, und dafs man hierdurch befähigt ist, selbst die minderwertigsten Brennstoffe, z. B. Sägemehl, in Brenngas von verhältnismäfsig grofsem Heizwerte zu verwandeln, möge hier nur kurz angedeutet werden.

b) Natürlich vorkommendes Gas (Erdgas).

Obschon an verschiedenen Stellen der Erde brennbare Gase zutage treten (Baku, Grenoble und anderwärts), hat doch nur ein einziges dieser Vorkommnisse, das Naturgas Nordamerikas, eine gröfsere gewerbliche Bedeutung erlangt. In den Staaten Newyork und Virginien tritt Erdgas auf; vornehmlich reich an diesem Brennstoffe aber ist die Umgegend von Pittsburg in Pennsylvanien, wo es Verwendung für mannigfache Zwecke, insbesondere auch für die Heizung von Flammöfen im Eisenhüttenbetriebe findet. Man entdeckte das Gas bei Bohren auf Erdöl. Ein Gasstrom von ungeheurer Spannung entströmte dem Bohrloche, und anfänglich liefs man das Gas ungenutzt unter Entwicklung einer mächtigen Flammensäule entweichen; erst später legte man Röhrenleitungen an, um das Gas im unverbrannten Zustande abzufangen und fortzuleiten. Die erste Anwendung des Naturgases für die Zwecke des Eisenhüttenbetriebes fand 1873 zu Leechburg statt; die erste gröfsere Röhrenleitung (nach Etna) wurde 1875 gelegt. Nach Pittsburg wurde die erste Leitung 1883 gelegt, und seit dieser Zeit bedient man sich in Pennsylvanien und einigen anderen Staaten (Indiana, Ohio) des aus Bohrlöchern gewonnenen Gases in ziemlich umfang-

reichem Maſse. Die gröſste der erbohrten Gasquellen soll zeitweise täglich mehr als 800 000 cbm Gas geliefert haben, mehrere andere 400 000 cbm. Allmählich werden jedoch die Bohrlöcher erschöpft, und seit dem Jahre 1888 ist der Verbrauch stetig gesunken. Im Jahre 1904 benutzten noch 135 Werke Erdgas als Brennstoff[1]).

Seine Bedeutung verdankt dieses Gas neben seinem massenhaften Vorkommen auch seinem hohen Brennwerte. Zwar schwankt die Zusammensetzung bei verschiedenen Quellen und auch zu verschiedenen Zeiten; in jedem Falle aber enthält das Gas reichliche Mengen von Methan (60—80 Raumteile v. H.) und Wasserstoff (5—20 Raumteile v. H.), also Körper mit hoher Wärmeleistung, neben nur kleinen Mengen nicht brennbarer Bestandteile (Stickstoff). Als mittlere Zusammensetzung kann man folgende annehmen:

Wasserstoff	20	Raumteile	2,7	Gewichtsteile
Methan	70	„	77,8	„
Schwere Kohlenwasserstoffe	6	„	11,6	„
Kohlendioxyd	1	„	2,0	„
Stickstoff	3	„	5,9	„
	100	Raumteile	100,0	Gewichtsteile

1 cbm dieses Gases wiegt bei Null Grad Temperatur und 760 mm Atmosphärendruck 0,643 kg; die Wärmeentwicklung beträgt für 1 cbm 7400 W.-E., für 1 kg 11 500 W.-E., und dieser starken Wärmeentwicklung entspricht eine hohe Verbrennungstemperatur, wie sich leicht mit Hilfe der auf Seite 60 mitgeteilten Formel ermitteln läſst.

Über die Gewinnung und Verwendung des Gases geben die unter Literatur aufgeführten Abhandlungen nähere Ausweise.

c) Brenngase als Nebenerzeugnisse anderer Verfahren.

Die aus manchen Öfen des Eisenhüttenbetriebes, z. B. den Puddelöfen, Schweiſsöfen, im noch heiſsen Zustande austretenden Verbrennungsgase lassen sich zwar nicht selten zum Heizen einer zweiten Vorrichtung, z. B. eines Dampfkessels, benutzen, aber den Namen Brennstoffe verdienen sie nicht, da sie brennbare Bestandteile nicht mehr oder nur noch in geringen Mengen enthalten[2]). Sie wirken nicht mehr durch Entwicklung von Wärme nutzenbringend, sondern lediglich durch Abgabe eines Teils der von ihnen bei der stattgehabten Verbrennung bereits entwickelten und mitgeführten Wärme. Man spricht deshalb in diesen Fällen nicht von Gasfeuerungen, sondern von der Heizung durch die Abhitze anderer Öfen.

Brennbare Gase, die sich durch Verbrennung zur Wärmeentwicklung benutzen lassen, also Brennstoffe im wirklichen Sinne,

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1276.

[2]) Ebelmen fand in den Gasen der Puddel- und Schweiſsöfen 12,5—7,3 Raumteile Kohlendioxyd, 0,2—7,6 Raumteile Kohlenoxyd, 78,5—82,0 Raumteile Stickstoff, 0,2—4,8 Raumteile freien Sauerstoff, 0,0—3,0 Raumteile Wasserstoff (Annales des mines, Reihe 4, Bd. 5, Seite 69).

werden im Eisenhüttenbetriebe als Nebenerzeugnisse beim Hochofenbetriebe und bei den Verkokungsöfen gewonnen.

Die **Hochofengichtgase** enthalten als wichtigsten brennbaren Bestandteil Kohlenoxyd, daneben kleine Mengen von Wasserstoff und Methan. Diese nutzbaren Bestandteile sind jedoch stets durch reichliche Mengen von Stickstoff und Kohlendioxyd verdünnt. Die Zusammensetzung im einzelnen hängt von den besonderen Betriebsverhältnissen ab; als durchschnittliche Zusammensetzung der trockenen Gase läſst sich annehmen:

Kohlenoxyd . .	24	Raumteile	24	Gewichtsteile
Kohlendioxyd .	12	„	17	„
Stickstoff . . .	60	„	58	„
Wasserstoff . .	2	„	0,2	„
Methan	2	„	0,8	„

Bei verschiedenen Hochöfen schwankt der Kohlenoxydgehalt zwischen 20—32 Raumteilen oder 22—30 Gewichtsteilen in 100 Teilen des trockenen Gasgemenges.

1 cbm Gichtgase von der obigen mittleren Zusammensetzung wiegt bei Null Grad Temperatur und 760 mm Barometerstand 1,3 kg. Die Wärmeentwicklung beträgt für 1 cbm 950 W.-E., für 1 kg 730 W.-E. Auſser den genannten Bestandteilen findet sich jedoch stets Wasserdampf in den Gichtgasen, dessen Menge von der chemischen Zusammensetzung und dem Feuchtigkeitsgehalte der Beschickung der Hochöfen abhängt und in einzelnen Fällen recht erheblich ist. Im Mittel kann man dafür 1/10 des Rauminhalts oder 1/15 des Gewichts der übrigen Bestandteile annehmen[1]). Die Art und Weise der Entziehung, Fortleitung und Reinigung der Gichtgase findet in der zweiten Abteilung dieses Buches ausführlichere Besprechung.

Reicher an brennbaren Bestandteilen sind die **Gase der Verkokungsöfen,** aus der Zersetzung der Steinkohlen ohne Luftzutritt entstanden und daher frei von dem groſsen Stickstoff- und Kohlendioxydgehalte, welcher den Brennwert der Hochofengichtgase abmindert. Ihre Zusammensetzung ist der des Leuchtgases ähnlich; wie dieses enthalten sie vorwiegend Methan und Wasserstoff, daneben kleinere Mengen kohlenstoffreicherer Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyds, Stickstoffs, Kohlendioxyds. Die Zusammensetzung der Kohlen, aus welchen sie entstanden, sowie die Eigentümlichkeiten des angewendeten Verkokungsverfahrens sind auch für die Zusammensetzung der Gase von Einfluſs. Folgende Beispiele mögen diese Zusammensetzung veranschaulichen[2]):

	Raumteile		
Wasserstoff	44,4	35,7	45,7
Methan	32,9	23,2	21,4
Schwere Kohlenwasserstoffe . .	2,3	1,5	1,6
Kohlenoxyd	6,7	5,5	8,2
Kohlendioxyd	3,6	3,2	2,7
Stickstoff	10,0	30,9	20,4

[1]) „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 258 (Lürmann).
[2]) „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 819, 1059.

Die Beispiele geben die Zusammensetzung des Gases an, welches bei Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse der für viele Öfen gemeinschaftlichen Vorlage entnommen war; sie sind deshalb am besten geeignet, die Zusammensetzung innerhalb des ganzen Verlaufs der Verkokung vor Augen zu führen. Als mittlere Zusammensetzung von Koksofengasen überhaupt kann man annehmen:

Wasserstoff	42	Raumteile	5,8	Gewichtsteile
Methan	26	„	29,1	„
Schwere Kohlenwasserstoffe	2	„	3,8	„
Kohlenoxyd	7	„	13,8	„
Kohlendioxyd	3	„	9,0	„
Stickstoff	20	„	39,0	„
	100	Raumteile	100,0	Gewichtsteile.

1 cbm dieses Gases wiegt bei Null Grad Temperatur und 760 mm Atmosphärendruck 0,648 kg; die Wärmeentwicklung beträgt für 1 cbm 3800 W.-E., für 1 kg 5900 W.-E.[1]).

Bei den Verkokungsöfen ohne Gewinnung der Nebenerzeugnisse verbrennt man, wie oben beschrieben worden ist, die Gase ohne weiteres in den Zügen der Öfen, wobei dann eine reichliche Abhitze zum Heizen von Dampfkesseln verfügbar bleibt; bei den Öfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse teilt man die ihres Teer- und Ammoniakgehalts beraubten Gase, um einen Teil für die Heizung der Verkokungsöfen, einen anderen Teil für sonstige Zwecke, insbesondere Dampfkesselfeuerung oder den Betrieb von Gaskraftmaschinen zu verwenden.

d) Das Luftgas und seine Darstellung.

Allgemeines. Benutzbare Rohstoffe.

Luftgas[2]) ist ein durch unvollständige Verbrennung (S. 44) fester Brennstoffe gewonnenes Gas. Seiner Entstehungsweise gemäfs enthält es als brennbaren Bestandteil vornehmlich Kohlenoxyd, neben diesem aber den gesamten Stickstoffgehalt der für jene unvollständige Verbrennung erforderlichen Luft. Benutzt man für die Darstellung verkohlte Brennstoffe, so würde unter der Voraussetzung, dafs diese gar keine flüchtigen Körper mehr enthielten, bei der Vergasung jede Bildung von Kohlendioxyd ausgeschlossen und die verbrauchte Luft vollständig trocken wäre, das Gas enthalten:

Kohlenoxyd	34,3	Gewichtsteile	34,3	Raumteile
Stickstoff	65,7	„	65,7	„

Benutzt man rohe Brennstoffe, so treten die bei ihrer Zerlegung entstehenden flüchtigen Körper hinzu, welche vornehmlich

[1]) A. von Jhering fand als Mittelwert aus 32 Gasproben die Wärmeentwicklung für 1 cbm = 4500 W.-E. („Stahl und Eisen“ 1899, Seite 820).

[2]) Häufig nennt man dieses Gas auch Generatorgas. Die Bezeichnung ist offenbar nichtssagend; jedes künstlich erzeugte Gas kann so genannt werden. Wedding schlägt die Benennung „Betriebsgas“ vor (Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 2, Seite 587), aber auch Hochofen-Gichtgas und Koksofengas ist Betriebsgas.

aus Wasserstoff und Methan bestehen, wie die oben mitgeteilten Analysen von Koksofengasen erweisen. Das Gas ist demnach ärmer an Stickstoff, reicher an brennbaren Bestandteilen als das aus verkohlten Brennstoffen gewonnene, und man verwendet deshalb verkohlte Brennstoffe nur dann, wenn sie als Nebenerzeugnisse bei anderen Verfahren entstehen, z. B. in Leuchtgasfabriken, oder wegen allzu kleinstückiger Beschaffenheit für sonstige Verfahren wenig tauglich sein würden und aus diesem Grunde als Abfälle gelten. Es würde widersinnig sein, rohe Brennstoffe zunächst durch Verkohlung ihres Gehalts an flüchtigen brennbaren Bestandteilen zu berauben, um sie dann erst zu vergasen.

Unter den rohen Brennstoffen sind demnach diejenigen besonders gut für die Luftgasbereitung geeignet, welche bei ihrer Zersetzung reichliche Mengen brennbarer Gase liefern. Holz, Torf und jüngere Braunkohlen entwickeln zwar die gröfste Menge flüchtiger Entgasungserzeugnisse überhaupt (vergleiche die Tabelle auf Seite 76), aber ein erheblicher Teil davon besteht aus Wasserdampf, wie aus der Zusammensetzung dieser Brennstoffe sich ergibt. Gröfsere Mengen brennbarer Gase liefern die älteren Braunkohlen, und noch reichlicher ist die Ausbeute bei der Zersetzung der langflammigen nichtbackenden Steinkohlen (Seite 72). Diese benutzt man deshalb mit Vorliebe für die Luftgasbereitung, wo sie zu ausreichend billigem Preise zu beschaffen sind; im übrigen finden sämtliche rohe Brennstoffe für den gleichen Zweck Verwendung. Ihre Gewinnungskosten geben den Ausschlag für die Wahl. Am wenigsten gern vergast man backende Steinkohlen, deren Backfähigkeit das Verfahren erschwert.

Bei der Verwendung roher Brennstoffe zur Luftgasbereitung sind mithin zwei verschiedene Vorgänge als Ursachen der Entstehung von Brenngas zu unterscheiden: die Zerlegung des Brennstoffs durch einfache Erhitzung in flüchtige Körper und hinterbleibende Kohle, und die Verbrennung der hinterbliebenen Kohle durch zugeführte Luft zu Kohlenoxyd. Den ersten Vorgang nennt man Entgasung, den zweiten Vergasung. Die bei der Vergasung freiwerdende Wärme veranlafst die Entgasung. Der für die Vergasung erforderliche Sauerstoff aber führt aus der atmosphärischen Luft mehr als die dreifache Menge Stickstoff mit in das Gasgemenge, während bei der Entgasung Gasbildung ohne Zuführung von Stickstoff stattfindet. Daher ist die Gesamtmenge des aus gleichen Gewichtsmengen festen Brennstoffs erfolgenden Gases einschliefslich jenes Stickstoffgehalts gröfser bei der Verarbeitung verkohlter als unverkohlter Brennstoffe. Man kann unter Berücksichtigung der unvermeidlichen Verluste (Rostdurchfall, Teerbildung) als durchschnittliches Ausbringen an Luftgas (ohne den Wasserdampfgehalt) aus 1 kg aschen- und wasserfreier Brennstoffmasse rechnen:

Holz	2,3 cbm	= 2,8 kg
Torf und jüngere Braunkohle . .	2,5 „	= 3,0 „
Ältere Braunkohle	3,4 „	= 4,0 „
Steinkohle	3,8 „	= 4,5 „
Holzkohle und Koks	6,0 „	= 7,2 „

Im übrigen beeinflussen die hierunter erörterten Umstände, von denen die chemische Zusammensetzung des Gases abhängt, auch dessen Menge, und die Angaben über die Ausbeute an Gas aus verschiedenen Brennstoffen lauten deshalb ziemlich abweichend [1]). Daſs der Feuchtigkeits- und Aschengehalt eines Brennstoffs für die aus 1 kg des wirklichen Brennstoffs — nicht der reinen Brennstoffmasse — erfolgende Gasmenge von wesentlichem Belang sein müssen, bedarf keiner Erläuterung.

Aus dem Gaserzeuger entweicht das Luftgas mit einer Temperatur, welche zwischen 100° und 1000° C. schwanken kann. Wasserreiche Brennstoffe geben kältere, wasserarme, insbesondere verkohlte Brennstoffe geben heiſse Gase. Die Gase führen demnach eine ihrer Temperatur entsprechende Wärmemenge mit, welche nutzbar gemacht werden kann, sofern die Gase mit jener Temperatur in den Verbrennungsraum eintreten, welche aber verloren geht, wenn die Gase auf ihrem Wege zum Verbrennungsraume absichtlich oder unabsichtlich abgekühlt werden. Dieser Wärmeverlust kann mehr als ein Zehntel von der Wärmeleistung des Brennstoffs betragen, aus welchem das Gas dargestellt wurde [2]); dennoch kann eine Abkühlung in solchen Fällen nützlich sein, wo es sich darum handelt, einem wasserreichen Gase, welches seines Wassergehalts halber zur Erzeugung hoher Temperaturen ungeeignet sein würde, diesen durch Verdichtung zu entziehen. Die Abkühlung bildet hier das Mittel, um auch aus geringwertigen Brennstoffen ein Gas von verhältnismäſsig hohem Brennwerte zu gewinnen.

Die chemische Zusammensetzung des Luftgases.

Auch das aus verkohlten Brennstoffen gewonnene Luftgas besitzt niemals genau die oben angegebene Zusammensetzung. Es enthält stets kleinere oder gröſsere Mengen von Kohlendioxyd, und mit dem Gehalte an Kohlendioxyd steigt auch der Stickstoffgehalt, weil für Kohlendioxydbildung die doppelte Luftmenge als für Kohlenoxydbildung erforderlich ist; niemals fehlt auch ein gewisser Wasserstoffgehalt, teils noch aus dem Brennstoffe selbst stammend, teils bei Einwirkung der Luftfeuchtigkeit auf die glühenden Kohlen entstanden ($H_2O + C = 2H + CO$). Noch gröſsere, durch die Unterschiede der chemischen Zusammensetzung der Rohstoffe bedingte Schwankungen zeigt die Zusammensetzung des aus rohen Brennstoffen erzeugten Luftgases. Als Mittelwerte der Zusammensetzung in beiden Fällen darf man annehmen:

	Aus verkohlten Brennstoffen	
Kohlenoxyd	33,8 Gewichtsteile	33,8 Raumteile
Wasserstoff	0,1 „	1,5 „
Kohlenwasserstoff CH_4	— „	— „
Kohlendioxyd	1,2 „	0,7 „
Stickstoff	64,9 „	64,8 „
	100 Gewichtsteile	100 Raumteile

[1]) Verschiedene solcher Angaben enthält Fr. Toldt, Regenerativ-Gasöfen (Leipzig 1898), Seite 233.

[2]) Berechnung des Wärmeverlustes: Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 29.

	Aus rohen Brennstoffen	
Kohlenoxyd	29,0 Gewichtsteile	27,1 Raumteile
Wasserstoff	0,6 "	7,6 "
Kohlenwasserstoff CH_4	2,6 "	4,1 "
Kohlendioxyd	6,4 "	3,8 "
Stickstoff	61,4 "	57,4 "
	100 Gewichtsteile	100 Raumteile

1 cbm des aus verkohlten Brennstoffen dargestellten Gases von vorstehender Zusammensetzung wiegt bei 0 Grad Temperatur und 760 mm Barometerstand 1,235 kg und entwickelt bei der Verbrennung 1037 W.-E.; 1 kg entwickelt 840 W.-E.

1 cbm des aus rohen Brennstoffen erzeugten Gases wiegt unter denselben Verhältnissen 1,170 kg und entwickelt 1380 W.-E.; 1 kg entwickelt 1180 W.-E.

Unter günstigen Verhältnissen kann der Kohlendioxydgehalt auch des aus rohen Brennstoffen gewonnenen Gases auf weniger als 0,5 Raumteile sinken, unter ungünstigen Verhältnissen auf mehr als 8 Raumteile steigen[1]).

Für die Zusammensetzung des Gases ist an erster Stelle die im Gaserzeuger herrschende Temperatur von Bedeutung. Hohe Temperatur befördert die Entstehung von Kohlenoxyd, niedrige Temperatur die Entstehung von Kohlendioxyd (Seite 47); bei der Entgasung roher Brennstoffe aber entstehen in hoher Temperatur vorwiegend brennbare Gase im eigentlichen Sinne, die auch bei der Abkühlung ihren Aggregatzustand beibehalten, in weniger hoher Temperatur reichlichere Mengen von Teerdämpfen, die in den Leitungen sich ablagern. Hohe Temperatur im Gaserzeuger ist daher günstig sowohl für die Zusammensetzung des erfolgenden Gases als für die Ausbeute an Gas. Welche bedeutenden Unterschiede in der Zusammensetzung des unter übrigens gleichen Verhältnissen, aber in verschiedener Temperatur erzeugten Luftgases obwalten können, zeigen die nachstehenden, von Stöckmann[2]) veröffentlichten Analysen:

	Heißer Gang Gewichtsteile	Kalter Gang Gewichtsteile
Stickstoff	66,86	68,42
Kohlendioxyd	7,41	12,14
Kohlenoxyd	21,78	16,56
Wasserstoff	0,47	0,27
Schweres Kohlenwasserstoffgas (Äthylen	2,95	1,32
Leichtes Kohlenwasserstoffgas (Methan)	0,58	1,29

[1]) Beispiele der Zusammensetzung: A. Naumann, Technisch-thermochemische Berechnungen, Seite 38; R. Åkermann, Beitrag zur Entwicklung der Frage der Heizgasgewinnung, Jahrbuch der österr. Bergakademien 1892, Tabelle 9; A. Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 42; Bunte, Kommissionsarbeiten über die Leistungsfähigkeit von Koksgasgeneratoren, Journal für Gasbeleuchtung 1878 und 1879.

[2]) Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, Seite 50.

Die aus 1 kg festen Brennstoffs erzeugte Gasmenge entwickelt in den hier aufgeführten Beispielen bei heifsem Gange die 1,3fache Wärme als bei kaltem Gange[1]).

Die im Gaserzeuger herrschende Temperatur ist von verschiedenen Umständen abhängig. Zunächst kommt hier die Zusammensetzung des benutzten Brennstoffs in Betracht. Für die Verdampfung von Wasser und für die Entgasung roher Brennstoffe wird Wärme gebraucht. Deshalb ist ein grofser Feuchtigkeitsgehalt der für die Luftgasbereitung bestimmten Brennstoffe unter allen Umständen nachteilig; verkohlte und gasarme rohe Brennstoffe eignen sich besser zur Erzielung hoher Temperaturen als gasreiche. Holz- und Torfgas ist daher durchschnittlich reicher an Kohlendioxyd und Stickstoff als Braun- und Steinkohlengas; selbst gedarrtes Holz und gedarrter Torf entlassen bei der Entgasung neben den brennbaren Gasen noch reichliche Mengen von Wasserdampf, aus ihrem Gehalte an Sauerstoff und Wasserstoff entstanden.

Auch die Menge des in bestimmter Zeit vergasten Brennstoffs ist für die Höhe der Temperatur von Bedeutung. Je mehr Kohle in derselben Zeit vergast, d. h. zu Kohlenoxyd verbrannt wird, desto niedriger ist das Verhältnis der Wärmeverluste zu der Menge der erzeugten Wärme, desto höher die entwickelte Temperatur. Rascher Gang der Gaserzeuger, bewirkt durch Zuführung reichlicher Luftmengen in bestimmter Zeit, ist deshalb günstig für die Zusammensetzung des erfolgenden Gases.

Neben der im Gaserzeuger herrschenden Temperatur ist die äufsere Beschaffenheit der für die Vergasung bestimmten Brennstoffe von Einflufs auf die Zusammensetzung des entstehenden Gases. Je mehr Oberfläche der Brennstoff der zutretenden Luft darbietet, desto weniger Kohlendioxyd wird gebildet. Deshalb verhalten sich porige Brennstoffe günstiger als dichte, kleinstückige günstiger als grofsstückige (Seite 46). Hierbei ist vorausgesetzt, dafs auch die dichter liegenden kleinstückigen Brennstoffe der gleichmäfsigen Bewegung der Luft kein Hindernis bereiten.

Auch der Feuchtigkeitsgehalt der für die Vergasung erforderlichen Luft bleibt nicht ganz ohne Einflufs auf den Verlauf der Vergasung und die Zusammensetzung des erfolgenden Gases. Dieser Feuchtigkeitsgehalt hängt zunächst von dem Klima und der herrschenden Witterung ab. Nicht selten läfst man auch die zum Betriebe der Luftgaserzeuger bestimmte Luft über einen unter dem Roste befindlichen Wassertümpel strömen (welcher zugleich zum Ablöschen der durch den Rost fallenden Kohlen dient), damit sie mit Wasserdampf sich sättige, weil man die Beobachtung gemacht hat, dafs der Rost auf diese Weise geschont und das Reinigen mehr erleichtert werde; oder man führt die Luft mit Hilfe eines Dampfstrahlgebläses zu, also ebenfalls im feuchtigkeitsgesättigten Zustande. Die mitgebrachte Feuchtigkeit wird unter Bildung von Wasserstoff und Kohlenoxyd zerlegt, wenn sie auf die

---

[1]) Hinsichlich der Berechnung dieser Wärmeleistung vergl. Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 29.

glühenden Kohlen trifft. Der Gehalt des Gasgemisches an brennbaren Körpern wird demnach angereichert, aber die Zersetzung erheischt einen Wärmeverbrauch. Bei dem Vorgange $H_2O + C = 2H + CO$ werden durch 1 kg Wasserdampf $^2/_3$ kg Kohlenstoff vergast. Für die Zerlegung jenes Wasserdampfes ist die gleiche Wärmemenge erforderlich, welche bei der Wasserdampfbildung aus Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt wird, also, da 1 kg Wasserdampf aus $^1/_9$ kg Wasserstoff und $^8/_9$ kg Sauerstoff besteht, $^1/_9 \times 28\,780 = 3198$ W.-E. (Seite 56). Dagegen entwickeln die hierbei verbrauchten $^2/_3$ kg Kohlenstoff bei ihrer Verbrennung zu Kohlenoxyd $^2/_3 \times 2470 = 1647$ W.-E. Es ergibt sich ein Mehrverbrauch an Wärme von $3198 - 1647 = 1551$ W.-E. für 1 kg zersetzten Wasserdampfs oder 2326 W.-E. für 1 kg durch Wasserdampf vergasten Kohlenstoffs. Durch Rechnung läfst sich jedoch nachweisen, dafs unter gewöhnlichen Verhältnissen, d. h. wenn die Luft den Wasserdampf einfach gelöst enthält, dessen Menge zu gering ist, um eine solche Temperaturerniedrigung zu veranlassen, dafs etwa vermehrte Bildung von Kohlendioxyd zu befürchten wäre. Luft von 20° C. enthält beispielsweise, wenn sie mit Feuchtigkeit gesättigt ist, 1,8 v. H. ihres Eigengewichts Wasser. Zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff zu Kohlenoxyd sind 5,65 kg Luft erforderlich, welche demnach 0,07 kg Wasserdampf mitbringen würde, und die Menge des hierdurch vergasten Kohlenstoffs betrüge 0,05 kg. Dem Wärmegewinn von 2470 W.-E. durch die Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff durch Luftsauerstoff stände demnach ein Wärmeverbrauch von nur $0{,}05 \times 2326 = 116$ W.-E. gegenüber, und neben 2,33 kg Kohlenoxyd würden 0,008 kg Wasserstoff in das Gasgemisch eingehen.

Von den Vorgängen, wenn man nicht nur die von der Luft gelöste Feuchtigkeit, sondern selbständig erzeugten Wasserdampf neben der Luft in die glühenden Kohlen führt, wird unten die Rede sein (Mischgaserzeugung).

Die Gaserzeuger.

Allgemeine Anordnung.

Ein Luftgaserzeuger (Generator) besteht aus einem mit verschliefsbarer Füllöffnung für den einzuschüttenden Brennstoff, Eintrittsöffnung für die Luft und Austrittsöffnung für das Gas versehenen Raume, in welchem die Luft, fast immer von unten nach oben emporsteigend, die Brennstoffschüttung durchdringt. In der Nähe ihrer Eintrittstelle findet die Vergasung, d. h. die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd statt; die hierbei entwickelte Wärme wird von den Gasen aufgenommen und zum Teile zur Verflüchtigung des Wassers und zur Entgasung der frisch aufgeschütteten Brennstoffe verbraucht, zum andern Teil aber aus dem Gaserzeuger mitgenommen. Der Vorgang der Gasbildung verläuft demnach ununterbrochen, solange der Luftzutritt nicht gehemmt ist und frischer Brennstoff in entsprechender Menge nachgefüllt wird.

Die Bewegung der Luft im Gaserzeuger und von diesem nach dem Ofen wird entweder durch die Zugwirkung einer

an den Ofen sich anschliefsenden Esse oder durch ein Gebläse bewirkt, welches die geprefste Luft dem Gaserzeuger zuführt. In den ersten Jahren nach Einführung der Gasfeuerungen bediente man sich fast ausnahmslos eines Gebläses; später hielt man die Benutzung einer Esse für einfacher, und während mehrerer Jahrzehnte verschwanden die durch ein Gebläse betriebenen Gaserzeuger fast vollständig. Erst seit der Mitte der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hat man die Vorteile deutlicher erkannt, welche die Anwendung eines Gebläses in der Tat gewährt, und so ist allmählich dieses Verfahren wieder üblicher geworden. In der Jetztzeit ist die Zahl der Gebläse-Gaserzeuger weit gröfser als die der Zug-Gaserzeuger.

Aus verschiedenen Gründen erweisen sich die ersteren als besser geeignet.

Bei der Verbrennung fester Brennstoffe befördert hohe Gasspannung im Verbrennungsraume Kohlenoxydbildung, niedrige Gasspannung Kohlendioxydbildung (Seite 46). Bei der Luftbewegung durch Essenwirkung herrscht im Verbrennungsraume, aus welchem die Gase abgesaugt werden, Luftverdünnung, bei der Luftzuführung durch ein Gebläse Luftverdichtung. Für die Erlangung eines an Kohlenoxyd reichen Gases ist demnach die Benutzung des Gebläses vorteilhafter.

Nicht minder wichtig ist der Umstand, dafs man bei der Luftzuführung durch ein Gebläse die Luftmenge so regeln kann, wie es für den Gang des Gaserzeugers am vorteilhaftesten ist, während die Zugwirkung einer Esse von verschiedenen unberechenbaren Nebenumständen abhängt. Die Stückgröfse und Schütthöhe des Brennstoffs im Gaserzeuger, die Widerstände in der Leitung, die Temperatur der Essengase und selbst die Witterungsverhältnisse beeinflussen jene Zugwirkung. Ein und derselbe Gaserzeuger, durch Essenzug betrieben, kann bei verschiedener Witterung abweichende Ergebnisse liefern. Reichliche Luftmengen lassen sich dem Gaserzeuger überhaupt leichter durch ein Gebläse als durch eine Esse zuführen. Die Temperatur im Gaserzeuger ist infolge davon bei Benutzung von Gebläsewind höher[1]), die Zusammensetzung des in der höhern Temperatur erfolgenden Gases günstiger, und der Gaserzeuger liefert in derselben Zeit mehr Gas als bei dem Betriebe durch Essenzug, wird also besser ausgenutzt.

Endlich läfst sich auch die ganze Anordnung der Gaserzeuger und Öfen bei Benutzung von Gebläsewind vereinfachen. Findet Betrieb durch Essenzug statt, so müssen die Gaserzeuger tiefer als die Öfen liegen, damit die heifsen Gase ihrem Bestreben, emporzusteigen, Folge geben können. Gewöhnlich ist eine Verlegung der Gaserzeuger in eine im Erdboden hergestellte Vertiefung erforderlich, wodurch die Bauart schwerfällig und kostspielig wird. Diese Rücksicht fällt weg, wenn man die Gaserzeuger mit Gebläsewind betreibt. Sie können alsdann oberirdisch aufgestellt werden,

---

[1]) Die Wärmeverluste durch Abgabe nach aufsen wachsen bei rascherm Betriebe nicht in dem gleichen Mafse wie die erzeugte Wärmemenge; daher mufs die Temperatur mit der Menge der in gleicher Zeit zugeführten Luft zunehmen.

und die Fortbewegung des Gases erfolgt ohne Schwierigkeit durch Vermittlung des im Gaserzeuger herrschenden Überdrucks.

Da die zum Betriebe von Gebläse-Gaserzeugern erforderliche Windspannung niemals sehr hoch ist — man pflegt mit einer Spannung von 8 bis höchstens 25 cm Wassersäule zu blasen —, genügen dazu einfache Gebläse. Mitunter bedient man sich, zumal bei kleineren Anlagen, der Dampfstrahlgebläse, und jeder Gaserzeuger bekommt in diesem Falle sein eigenes Gebläse; für gröfsere Anlagen sind Flügelradgebläse (Ventilatoren, Zentrifugalgebläse) oder Kapselgebläse (Rootsgebläse, Jägergebläse u. a.) geeigneter, deren jedes den erforderlichen Wind für eine grofse Zahl von Gaserzeugern zu liefern vermag, und welche eine Regelung der Windmenge und Windspannung innerhalb weiterer Grenzen als die Dampfstrahlgebläse ermöglichen [1]).

Bei den Zug-Gaserzeugern erfolgt der Zutritt der Luft durch einen Rost; bei den Gebläse-Gaserzeugern bedient man sich in den meisten Fällen ebenfalls eines Rostes, unter welchen der Wind geleitet wird. Der Aschenfall mufs hierbei luftdicht abgeschlossen werden. Man benutzt hierfür eine gutschliefsende Tür, nicht selten auch eine aus Eisenblech gefertigte Glocke, welche mit ihrem obern und untern Rande in Wasser taucht und mit Hilfe von Gegengewichten emporgezogen werden kann (vergl. unten Abb. 20).

Führt man den Wind, wie bei Gebläseschachtöfen, durch seitliche, in einiger Höhe über dem Boden angebrachte Öffnungen (Windformen) zu und läfst die Asche zu einer ausreichend flüssigen Schlacke schmelzen, welche von Zeit zu Zeit durch eine an der tiefsten Stelle des Gaserzeugers angebrachte, mit einem Tonpfropfen verschlossen gehaltene Öffnung (den Schlackentisch) abgelassen wird, so läfst sich auch auf diese Weise der Rost entbehrlich machen. Zur Bildung solcher dünnflüssigen Schlacke ist ein Kalksteinzuschlag bei jeder Aufschüttung von Brennstoffen erforderlich, dessen Menge nach dem Aschengehalte des Brennstoffs und der chemischen Zusammensetzung der Asche bemessen wird. Das Verfahren gewährt den Vorteil, dafs der bei Anwendung eines Rostes unvermeidliche Brennstoffverlust durch Rostdurchfall vermieden wird; dafs das Reinigen des Rostes wegfällt, welches bei geschlossenem Aschenfalle nicht ohne zuvorige Öffnung des Aschenfallverschlusses und demnach Unterbrechung der Windzuführung zu bewerkstelligen ist; und dafs, wie sich aus Beobachtungen im Betriebe schliefsen läfst, die kalkreiche Schlacke einen Teil des Schwefelgehalts der Brennstoffe aufnimmt, welcher Umstand nicht ohne Bedeutung für manche Verwendungen des erfolgenden Gases ist [2]). Da aber die Menge des Kalksteinzuschlags in bestimmtem

---

[1]) Näheres über die Einrichtung und Wirkungsweise solcher Gebläse: A. von Jhering, Die Gebläse, Berlin 1893; auch „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 70.

[2]) Man hat gefunden, dafs beim Betriebe von Martinöfen der Einflufs des Schwefelgehalts der vergasten Kohlen, welcher mitunter in nachteiliger Weise sich bemerkbar machen kann, unmerklicher wurde, wenn die Kohlen in Gaserzeugern mit Gebläsewind und Kalkzuschlag vergast wurden. (Jernkontorets Annaler 1885, Seite 377).

Verhältnisse zu dem Aschengehalte stehen mufs, und sowohl ein zu reichlicher als ein zu knapp bemessener Kalksteinzuschlag die Bildung einer ausreichend leichtflüssigen Schlacke verhindern würde, ist das Verfahren nur anwendbar, wenn der Aschengehalt der zur Gasdarstellung bestimmten Brennstoffe nicht etwa gröfseren Schwankungen unterworfen ist.

Die Höhe der Schicht, welche der Brennstoff im Gaserzeuger einnimmt, nennt man die Schütthöhe. Je gröfser sie ist, desto ausgedehnter ist die Berührung zwischen dem Brennstoff und der Luft, desto umfänglichere Gelegenheit ist zur Reduktion des anfänglich gebildeten Kohlendioxyds zu Kohlenoxyd gegeben (Seite 49). Mit der Schütthöhe wächst aber der Widerstand, welchen die Luft und das Gas für die Fortbewegung finden, und verringert sich demnach die zutretende Luftmenge, sofern nicht bei Bemessung der Luftspannung dieser Zunahme des Widerstandes Rechnung getragen wird. Dem durch beträchtlichere Schütthöhe erreichten Vorteile würde der gröfsere Nachteil einer Verminderung der zutretenden Luftmenge gegenüberstehen. Bei Luftzuführung durch ein Gebläse läfst sich durch Steigerung der Luftspannung Ausgleich schaffen; die durch eine Esse erreichbare Zugwirkung dagegen bleibt immerhin auf ein verhältnismäfsig niedriges Mafs beschränkt. Auch hierin liegt ein Vorteil der Gebläse-Gaserzeuger. Bei Zug-Gaserzeugern pflegt man eine Schütthöhe von 0,6—0,8 m für feinstückigere Brennstoffe, von 1—1,5 m für Holz und Torf zu geben; bei Gebläse-Gaserzeugern kann man, sofern das Gebläse leistungsfähig genug ist, Schütthöhen von 3 m und darüber auch für weniger grobstückige Brennstoffe zur Anwendung bringen.

Damit aber die Gaserzeugung in befriedigender Weise verlaufe, mufs die eintretende Luft die angehäuften Brennstoffe in möglichst gleichmäfsiger Verteilung durchdringen. Bei der Wahl der Form und Gröfse der Gaserzeuger mufs hierauf Rücksicht genommen werden. An den Wänden des Gaserzeugers erleiden die Brennstoffe bei ihrem Niederrücken Reibung, welche hier eine Auflockerung bewirkt. Infolge davon finden die Luft und das Gas hier geringere Widerstände als in der Mitte und erlangen das Bestreben, an den Wänden emporzusteigen. Um der eintretenden Luft das Vordringen bis zur Mitte zu erleichtern und dadurch dem Übelstande entgegenzuwirken, gibt man in der Regel dem untern Teile des Gaserzeugers Trichterform, so dafs an der engsten Stelle die Luft zutritt [1]). Ordnet man die Lufteinströmungen, z. B. einen Treppenrost, an derjenigen Seite an, welche der Gasaustrittsöffnung gegenüberliegt, so werden auch hierdurch die Gase veranlafst, in reichlicherer Menge ihren Weg durch die Brennstoffschüttung zu nehmen.

Ein andres Mittel zu dem gleichen Zwecke ist die Einführung der Luft in die Kohlenschüttung von der Mitte statt von der Seite aus. Ein Beispiel hierfür ist unten in Abb. 21 (Duffs Gaserzeuger) gegeben.

Je gröfser indes der Gesamtquerschnitt des Gaserzeugers ist,

---

[1]) Eine Ausnahme findet statt bei Vergasung backender Steinkohlen, welche in einem nach unten sich verengenden Gaserzeuger gar nicht oder nur in sehr unregelmäfsiger Weise sich abwärts bewegen würden.

desto schwieriger bleibt es immer, das Aufsteigen eines reichlichen Teils der zugeführten Luft und des anfänglich gebildeten Kohlendioxyds an den Wänden des Gaserzeugers zu hindern. Aus diesem Grunde gibt man dem Gaserzeuger nicht gern einen erheblich gröfseren Querschnitt als 2 qm an der engsten Stelle, häufiger nur 1—1,5 qm, und sofern die innerhalb dieses Querschnittes erfolgende Gasmenge nicht für den Bedarf ausreicht, vereinigt man mehrere Gaserzeuger in der später zu besprechenden Art und Weise zu einer Gruppe. Für die Vergasung von Torf, welcher auch in der Mitte lockerer als Kohlen liegt, findet man allerdings Gaserzeuger mit Querschnitten bis 3 qm. Die Menge des für je 1 qm Querschnitt des Gaserzeugers stündlich vergasten Brennstoffs beträgt bei Benutzung von Steinkohlen in Zug-Gaserzeugern gewöhnlich 60—80 kg und kann bei Gebläse-Gaserzeugern mit hoher Schüttung, entsprechend starker Windspannung und reichlicher Windmenge, den drei- bis vierfachen Betrag erreichen. Bei Holz- und Torfgaserzeugern lassen sich, sofern Gebläsewind zur Anwendung kommt, auf 1 qm Querschnitt 200—300 kg Brennstoff stündlich vergasen.

Endlich ist auch die Anordnung der Füllöffnungen von Einflufs auf die Zusammensetzung des Gases. Da die Luft, wie erwähnt, das Bestreben hat, an den Wänden aufzusteigen und sich hierdurch der ausgedehnten Berührung mit dem Brennstoffe zu entziehen, müssen die Füllvorrichtungen eine solche Lage und Einrichtung besitzen, dafs der Brennstoff mehr an den Wänden als in der Mitte sich häuft. Wie die Aufgabe zu lösen ist, hängt zum Teil von der in jedem einzelnen Falle gewählten Form des Gaserzeugers ab. Gewöhnlich besteht die Füllvorrichtung aus einem eisernen Behälter auf dem Scheitel des Gaserzeugers, oben mit abnehmbarem Deckel versehen, während der Boden aus einer Klappe oder (bei kreisförmigem Querschnitt des Gaserzeugers) einem kegelförmigem Verschlusse besteht, durch dessen Senken die Öffnung freigemacht und die im Behälter angehäuften Kohlen veranlafst werden, nach allen Seiten hin abzustürzen. Die hierunter gegebenen Beispiele verschiedener Gaserzeuger können als fernere Erläuterung hierfür dienen.

Bei jedem Einschütten frischen Brennstoffs ändert sich die Zusammensetzung des entstehenden Gases teils wegen der eintretenden Abkühlung, teils auch, weil der noch frische Brennstoff gröfsere Mengen von Wasserdampf und andern leichtflüchtigen Verbindungen entläfst als der schon länger erhitzte. Je mehr Brennstoff mit einem Male eingeschüttet wird, je länger also die Pausen zwischen den aufeinanderfolgenden Begichtungen sind, desto deutlicher mufs dieser Übelstand sich geltendmachen. Auf manchen amerikanischen Werken hat man deshalb selbsttätige Beschickungsvorrichtungen eingeführt, welche regelmäfsig in kurzen Pausen dem Gaserzeuger kleine Mengen Brennstoff zuführen. In Abb. 16 ist eine dieser Vorrichtungen dargestellt[1]). Durch die in Punkten angedeuteten Getriebe *a* und *b* erhält die im Innern eines Gehäuses befindliche hohle Walze *c* langsame, dem Kohlenbedarfe

[1]) Aus Harbord, The metallurgy of steel.

des Gaserzeugers entsprechende Drehung. In der gezeichneten Stellung wird die Walze aus dem darüber befindlichen Behälter mit Kohlen gefüllt. Nachdem sie dann etwa $^{2}/_{5}$ Umdrehung gemacht hat, steht der Schlitz, welcher zuvor den Eintritt der Kohlen in das Innere ermöglichte, unten über der Füllöffnung des Gaserzeugers, durch welche die Kohlen nun abwärts stürzen, worauf sich nach beendigter voller Umdrehung der gleiche Vorgang wiederholt.

An geeigneten Stellen des Gaserzeugers müssen Stochöffnungen angebracht werden, durch welche Stangen eingeführt werden können, wenn es sich darum handelt, Störungen des gleichmäfsigen Niederrückens des Brennstoffs, Schlackenansätze u. dergl. zu beseitigen. Sie werden durch einen aufgelegten Deckel oder eine eingelegte Kugel (wie in Abb. 20) verschlossen.

Beispiele von Gaserzeugern.

Nachdem man die Vorteile der Gasfeuerungen überhaupt erst bei Benutzung der Hochofengichtgase erkannt hatte, lag es nahe, bei der Erbauung von Gaserzeugern zur künstlichen Gewinnung von Brenngas aus festen Brennstoffen auch den Hochofen als Vorbild zu benutzen[1]; manche der in der ersten Zeit erbauten Gaserzeuger, insbesondere solche, welche für die Vergasung feinstückiger, verkohlter Brennstoffe bestimmt waren, hatten in der Tat die Form eines Hochofens, eine Höhe von etwa 5 m und wurden mit Gebläsewind betrieben[1]). Wollte man aber die Erzeugung von Gebläsewind umgehen und eine Esse zur Luftzuführung benutzen, so war man gezwungen, jene Höhe erheblich zu verringern. Ein solcher, durch Bischof im Jahre 1840 auf dem Eisenwerke zu Mägdesprung erbauter, für die Vergasung von Torf bestimmter Gaserzeuger ist in Abb. 17 (Seite 122) dargestellt. Um jedoch, wie es bald üblich wurde, Stein- oder Braunkohlen statt des lockerliegenden Torfs ohne Benutzung eines Gebläses vergasen zu können, mufste man auch die Form des Gaserzeugers so ändern, dafs der Luft, trotz der dichtern Lagerung der Brennstoffe, der Durchgang gewahrt blieb. Besondere Verdienste um die Vervollkommnung solcher Gaserzeuger haben sich die Brüder Wilhelm Siemens in London und Friedrich Siemens in Dresden erworben. Ein in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von ihnen erbauter Gaserzeuger, dessen Anordnung auch jetzt noch ziemlich häufig angetroffen wird, ist in den Abb. 18 und 19 (Seite 122) dargestellt und mit *A* bezeichnet. Vier gleiche solche Gaserzeuger sind im Quadrate gegeneinandergestellt,

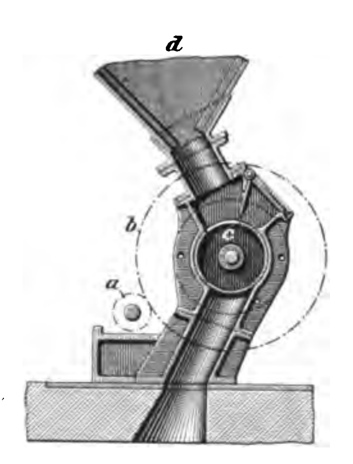


Abb. 16.

[1]) Abbildung eines solchen, im Jahre 1842 auf einem steirischen Eisenwerke errichteten Gaserzeugers: Ledebur, Die Gasfeuerungen, Fig. 3.

in das Erdreich eingebaut und entlassen ihre Gase in einen gemeinschaftlichen senkrechten, in der Mitte des Quadrats stehenden Kanal[1]). *d* ist einer der beiden Füllschächte jedes Gaserzeugers (in Abb. 19

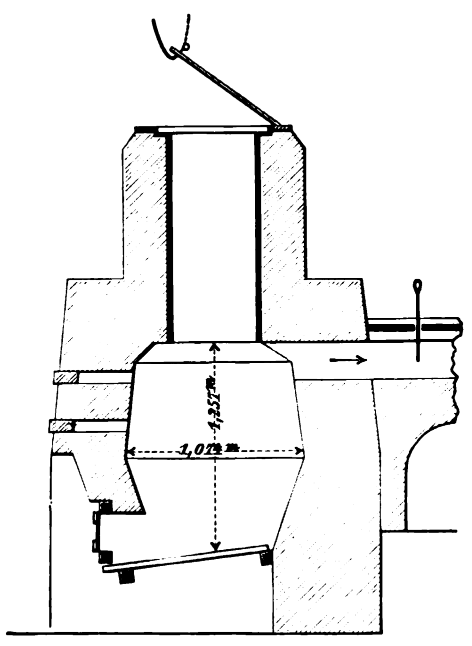


Abb. 17.

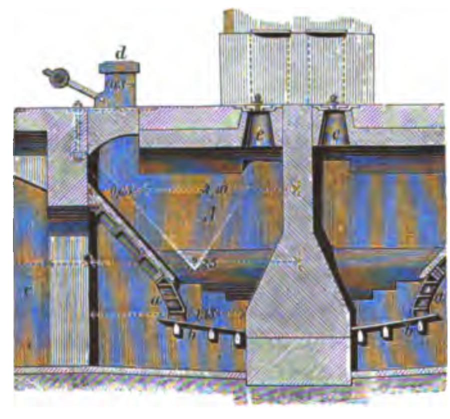
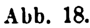



Abb. 18.

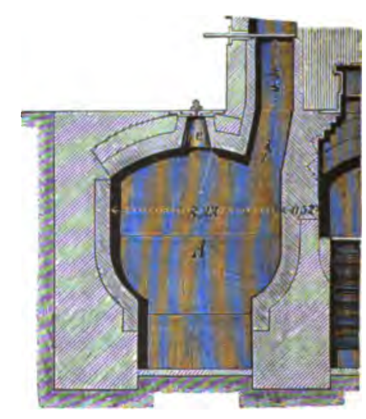


Abb. 19.

rechts ist die Hälfte eines solchen Füllschachts im Schnitte gezeichnet). Jeder Füllschacht besteht aus einem gufseisernen Behälter mit abnehmbarem Blechdeckel, dessen Rand in eine herum-

[1]) Über die Veranlassung, die Gaserzeuger vertieft anzuordnen, vergl. S. 117.

laufende, mit Wasser oder Teer gefüllte Rinne taucht, so dafs luftdichter Abschlufs erzielt wird. Unten ist der Behälter durch eine gufseiserne Klappe geschlossen, welche durch einen Hebel mit Gegengewicht bewegt wird. Man füllt, während die Klappe geschlossen gehalten wird, die aufzuschüttenden Kohlen nach Abheben des Deckels durch die obere Öffnung ein, setzt den Deckel auf und öffnet nunmehr erst den Klappenverschlufs, um die Kohlen hinunterstürzen zu lassen. Die Rückseite des Gaserzeugers besteht aus einer um 50—70° geneigten Ebene, an welche sich unten ein Treppenrost *a* anschliefst; die untere Begrenzung wird durch einen schwach geneigten Planrost *b* gebildet. Die einstürzenden Kohlen gleiten auf der schrägen Wand abwärts, werden hierbei aufgelockert und bilden eine Schüttung auf dem Roste, welche der eintretenden Luft geringeren Widerstand bietet als die Schüttung in einem nach Art der Abb. 17 gebauten Gaserzeuger. *ee* sind Stochöffnungen, gewöhnlich drei in der Decke jedes Gaserzeugers. *c* ist die für zwei nebeneinanderliegende Gaserzeuger gemeinschaftliche Schürgrube, in deren Decke Einsteigöffnungen angebracht sind.

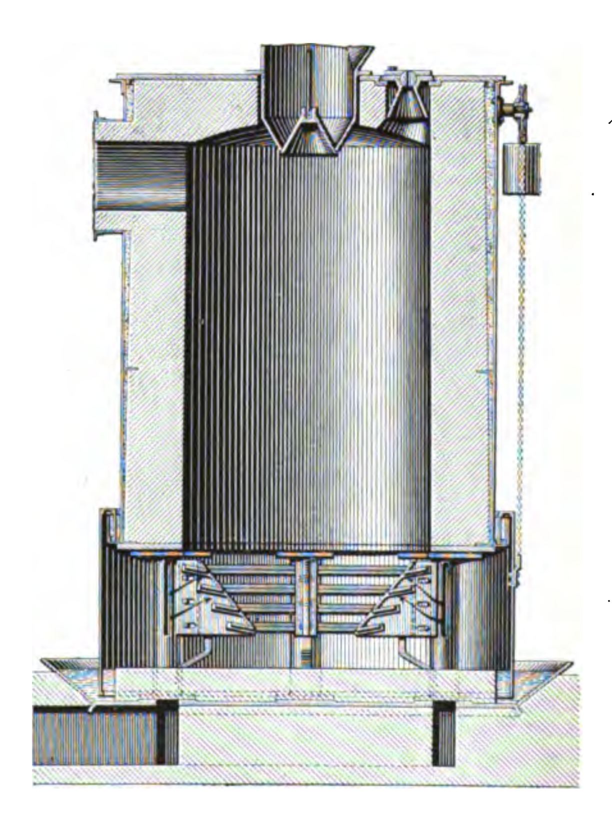


Abb. 20.

Soll der abgebildete Gaserzeuger mit Gebläsewind betrieben werden, so schliefst man den Zugang von der Schürgrube nach dem Aschenfall durch eine eiserne Tür und leitet den Wind unter den Rost. Häufiger gibt man jedoch in diesem Falle dem obern Teile des Gaserzeugers Zylinderform, dem untern Trichterform mit eingebauten Treppenrosten. Der Boden kann, wie bei dem Siemens-Gaserzeuger (Abb. 18), aus einem Planroste bestehen (vergl. unten Abb. 24); nicht selten läfst man jedoch zur Erleichterung des Schürens den Planrost fehlen. Abb. 20 zeigt einen Gaserzeuger dieser Art. Der Wind tritt durch den untern, ringförmig gemauerten

Kanal in die zum Tragen des Schachts dienenden Säulen und aus diesen durch senkrechte Schlitze in den Raum, welcher den achteckigen Treppenrost einschliefst. Zum Abschlusse dieses Raums nach aufsen dient die aus Eisenblech gefertigte Glocke, welche oben und unten in Wasser taucht und mit Hilfe einer Kette und eines Gegengewichts emporgezogen wird, wenn der Treppenrost gereinigt und die darunter auf dem Mauersockel angehäufte Asche entfernt werden soll.

Auf amerikanischen Werken hat man bei Gaserzeugern dieser Art statt des Mauersockels bisweilen einen drehbaren eisernen Teller zur Anwendung gebracht, von welchem die Asche und gebildete Schlacke durch seitlich angebrachte Stäbe abgestreift wird, ohne dafs die Luftzuführung unterbrochen zu werden braucht [1]).

Der gleiche Zweck läfst sich auch erreichen, wenn man den untern Rand des Gaserzeugers in ein Wassergefäfs tauchen läfst, aus welchem die niedergefallene Asche von aufsen her entfernt werden kann. Ein in dieser Weise eingerichteter Gaserzeuger, welcher zugleich die Eigentümlichkeit besitzt, dafs der Wind nicht von der Seite her, sondern von der Mitte aus zugeführt wird, damit er gleichmäfsiger die Brennstoffschicht durchdringe, ist in Abb. 21 und 22 dargestellt (Duffs Gaserzeuger, von der Firma Paul Schmidt & Desgraz in Hannover gebaut). Der Wind tritt durch die Öffnung *a* unter dem sattelförmigem Roste zu; die Asche und Schlacke, welche auf diesem sich ablagert, wird von den in der Decke des Gaserzeugers angebrachten Stochöffnungen aus mit Hilfe einer spitzen Stange losgestofsen und fällt dabei in den seitlich befindlichen Wasserbehälter, aus welchem sie durch Krücken leicht entfernt werden kann. Ein Teil davon bleibt zurück und dient zum Tragen der darüber befindlichen Brennstoffschicht.

Ein für die Vergasung backender Steinkohlen bestimmter Gaserzeuger ohne Rost (Gaserzeuger von Piétzka in Eisenwerk Witkowitz) ist in Abb. 23 dargestellt. Er hat vierseitig-prismatische Form und ist unten durch eine Tür geschlossen, nach welcher der Boden stark abfällt, so dafs die Entfernung der Asche sich ohne Schwierigkeit bewirken läfst. Oberhalb der Düse für die Zuleitung des Gebläses findet die stärkste Wärmeentwicklung statt, und das Mauerwerk ist deshalb an dieser Stelle durch eingelegte Kühlkästen für Wasserkühlung vor rascher Zerstörung geschützt.

Wenn mehrere Gaserzeuger auf einem Werke gleichzeitig betrieben werden, sei es, dafs sie für einen einzigen Ofen bestimmt sind, oder dafs mehrere Öfen derselben Gattung von ihnen Gas erhalten, vereinigt man sie zweckmäfsigerweise zu einer Gruppe mit gemeinschaftlicher Gasleitung, aus welcher dann nach den einzelnen Öfen hin besondere Leitungen abgezweigt werden. Indem man die Gaserzeuger zu verschiedenen Zeiten beschickt, ermöglicht man einen teilweisen Ausgleich der Unregelmäfsigkeiten in der Zusammensetzung des Gases, welche durch das Auffüllen frischen Brennstoffs hervorgerufen werden; durch Ein- oder Ausschalten ein-

[1]) Taylors, Gaserzeuger, abgebildet in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 397.

zelner Gaserzeuger der ganzen Gruppe ist man leicht imstande, dem wechselnden Gasbedarfe des Betriebes Rechnung zu tragen. Eine solche Gruppe von Gaserzeugern, durch Gebläsewind betrieben und für die Vergasung von Steinkohlen bestimmt, zeigen die Abb. 24 und 25. Sie besitzen zylindrische Form mit einer trichterartigen Verengung nach dem Roste zu; der Wind wird durch zwei Düsen (Formen) von je 100 mm Durchmesser unter dem Roste zugeführt. Durch den in Abb. 25 in seiner Längenausdehnung sichtbaren Kanal *b* strömt das Gas nach dem für alle Gaserzeuger gemeinschaftlichen Kanale *a*, welcher es seinem Verwendungsorte zuführt; ein Ventil oberhalb *a* (in Abb. 25 sichtbar) in jedem Kanale *b* dient zur Unterbrechung der Verbindung, wenn einzelne Gaserzeuger aufser Betrieb gesetzt werden sollen. Der Fülltrichter zum Einschütten des Brennstoffs ist auch bei jedem dieser Gaserzeuger durch einen Deckel geschlossen, welcher durch Kette mit Gegengewicht gehoben und gesenkt wird; der untere Verschlufs wird ebenso wie bei den Gaserzeugern Abb. 20 und 21 durch einen unter den Rand des Fülltrichters passenden, an einer Stange mit Hebel und Gegengewicht hängenden Kegel gebildet, welcher gesenkt wird, sobald die Kohlen in den Fülltrichter gebracht sind und der Deckel wieder aufgelegt worden ist. In Gaserzeugern von zylindrischer Form wird durch eine solche Einrichtung besser als durch einen Klappenverschlufs (Abbildung 23) die Aufgabe erfüllt, die Brennstoffe am Umfange anzuhäufen. Der Wind wird den abgebildeten Gaserzeugern durch Flügelradgebläse (Ventilatoren) geliefert und besitzt unter dem Roste eine Spannung von 85 mm Wassersäule; die Gasspannung im Gaserzeuger beträgt 60—65 mm, im Sammelkanal 55 mm, in der Nähe des Ofens 50 mm.

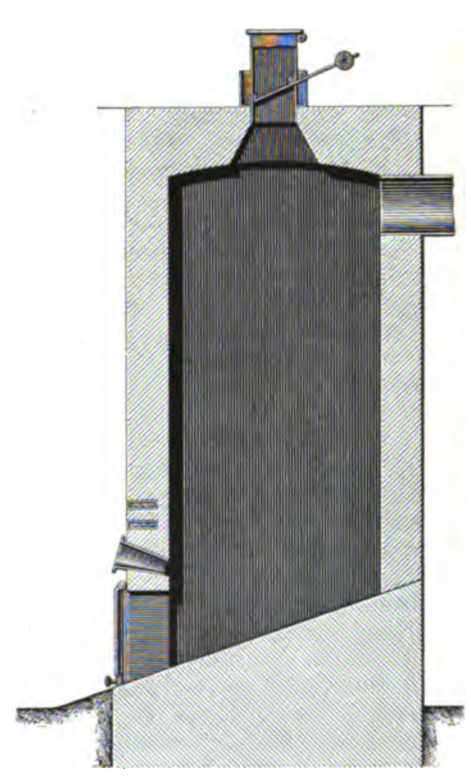


Abb. 23.

Auch die Abbildungen 18 und 19 auf Seite 122 zeigen die Vereinigung von mehreren (vier) Gaserzeugern zu einer Gruppe.

Die Leitungen und die Verdichtungsvorrichtungen für Wasserdampf.

Wenn durch nur einen Gaserzeuger das Gas für nur einen Ofen geliefert werden soll, legt man in der Regel beide unmittelbar aneinander, so dafs das Gas mit der vollen aus dem Gaserzeuger mitgebrachten Wärme in den Ofen übertritt. Beispiele hierfür sind bei Besprechung der Flammöfen im IV. Abschnitte gegeben (Boëtiusofen, Bicherouxofen). Häufiger ist jedoch der schon besprochene Fall, dafs eine Gruppe von Gaserzeugern einem oder mehreren Öfen das Gas liefert, und dafs alsdann eine Leitung zwischen den Gaserzeugern und den Öfen eingeschaltet werden mufs. Will man hierbei Abkühlung des Gases nach Möglichkeit verhüten, so macht man die Leitung tunlichst kurz, kleidet sie mit Ziegeln als schlechten Wärmeleitern aus oder legt sie als gemauerten Kanal in den Erdboden (vergl. Abb. 25), sofern durch Anwendung von Unterwind bei den Gaserzeugern Gewähr gegeben ist, dafs die Fortbewegung des Gases nicht gehemmt werde. Rücksicht aber ist bei Anlage dieser Leitungen darauf zu nehmen, dafs mitgerissener Staub und Teer sich ablagern, welche von Zeit zu Zeit entfernt werden müssen. Zur Erleichterung der Aufgabe und zugleich zur Erlangung eines tunlichst staubfreien Gases schaltet man bisweilen in die Leitung einen besondern Staubsammler in Form eines Behälters von reichlich bemessenem Querschnitt ein, durch welchen das Gas langsam hindurchzieht, hierbei seinen Staub absetzend, oder man gibt wenigstens der Leitung da, wo sie am besten zugänglich ist, einen weitern Querschnitt, um hier die Staubablagerung zu befördern. Die Reinigungsverschlüsse ordnet man so an, dafs sie bei etwa eintretenden Explosionen selbsttätig sich öffnen können und somit auch als Sicherheitsvorrichtungen dienen. Die Abb. 26 und 27 zeigen einen solchen Staubsammler nebst Gasleitung der Martinhütte in Borsigwerk. Der Staubsammler steht in der Mitte zwischen zwei Gaserzeugern von ähnlicher Einrichtung, wie in Abb. 24 und 25 dargestellt ist. Bei *a* tritt das Gas des einen Gaserzeugers ein, vereinigt sich mit dem durch eine gleiche, in der Abbildung nicht sichtbare Öffnung eintretenden Gase des zweiten Gaserzeugers, nimmt den durch die Pfeile bezeichneten Weg unter der im Staubsammler angebrachten Scheidewand hindurch, tritt am Scheitel des Staubsammlers in die Leitung und strömt bei *b* nach dem Ofen. *cc* sind Explosionsklappen; das senkrechte Leitungsrohr hat unten Wasserverschlufs (Abb. 27), welcher ebenfalls als Sicherheitsvorrichtung bei Explosionen dient und zugleich in bequemer Weise die Entfernung abgelagerten Staubes ermöglicht. Aus dem Staubsammler geschieht die Entfernung von Staub und Teer nach dem Öffnen der links befindlichen Tür[1]).

---

[1]) Tritt das Gas mit einer Temperatur von 600° C. oder darüber in Berührung mit dem Spiegel des Wasserverschlusses, so kann eine Änderung in der Zusammensetzung des Gases nach der Gleichung $CO + H_2O = CO_2 + 2\,H$ veranlafst werden, d. h. es wird reicher an Kohlendioxyd und Wasserstoff, ärmer an Kohlenoxyd; z. B.:

Ofen
anei
mitg
sind
(Boe
besp
meh
zwis
muf
verl
Zieg
Kar
von
die
abe
mit
zu
unc
sch
sar
sch
sei
wc
hie
or
se
ric
St
De
vc
B
de
ei
P
S
L
k
(
p
a
d
b

n
s
v
c

Bei Verwendung wasserreicher Brennstoffe zur Gaserzeugung kann auch die Einschaltung besonderer Verdichtungsvorrichtungen zweckmäfsig sein, um dem Gase einen Teil seines Wasserdampf-

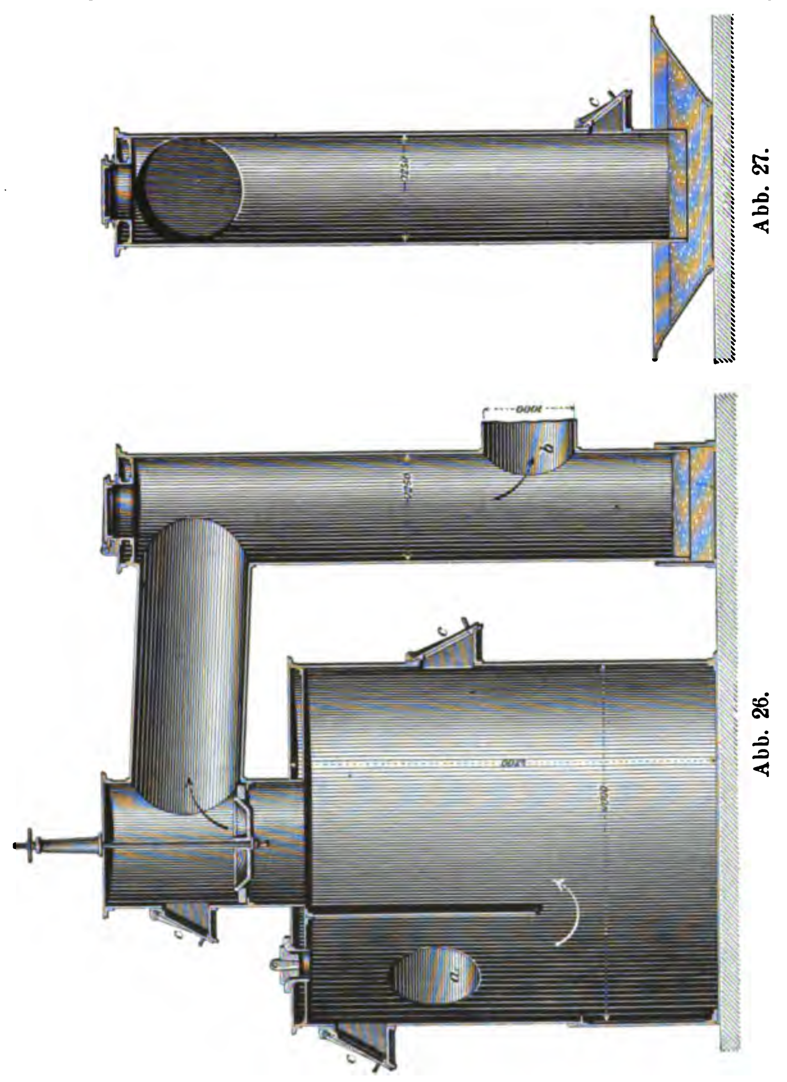


Abb. 27.

Abb. 26.

gehaltes zu entziehen und es dadurch auch für Entwicklung höherer Verbrennungstemperaturen geeignet zu machen.

Die Anordnung dieser Vorrichtungen ist ziemlich verschieden. Unter Umständen genügt schon ein langes und weites, aus Eisen-

---

	CO_2	CH_4	CO	H	
Vor dem Wasserverschlufs	4,8	0,6	25,9	14,8	Raumteile.
Hinter „ „	5,9	0,1	24,3	16,9	

Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 693.

blech gefertigtes und der Abkühlung durch die Luft preisgegebenes Rohr, um das langsam hindurchstreichende Gas abzukühlen. Die Abb. 28 zeigt ein solches, zuerst von W. Siemens in Verbindung mit den von ihm erbauten Gaserzeugern (Seite 121) angewendetes Rohr, in welchem die vereinten Gase mehrerer zusammengestellter Gaserzeuger sich fortbewegen. Siemens verband mit der Anwendung eines solchen heberartig gestalteten Rohres noch den Zweck, die Zugwirkung bei Gaserzeugern, welche ohne Gebläsewind betrieben werden, zu verstärken. In dem rechts befindlichen, aus Ziegelmauerwerk erbauten Schenkel des Hebers steigen die Gase empor, ohne wesentliche Abkühlung zu erleiden; in dem langen, schwach geneigten obern Rohre werden sie abgekühlt,

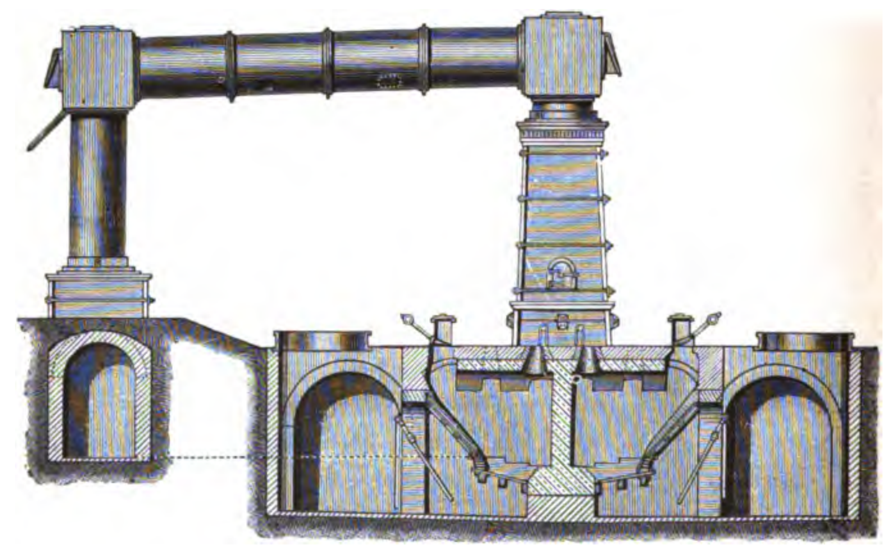


Abb. 28.

wobei ihr spezifisches Gewicht sich vergröfsert, ihr Rauminhalt sich verringert; unter fortschreitender Abkühlung fallen sie in dem links befindlichen Schenkel abwärts, um dem Ofen zuzuströmen[1]). Mit Explosionsklappen versehene Reinigungsöffnungen an dem obern Rohre dienen zur Entfernung des sich absetzenden Teers; für das Abfliefsen des Wassers kann leicht an einigen tief gelegenen Stellen eine entsprechende Vorrichtung angebracht werden. Bei älteren Anlagen kann man noch jetzt bisweilen diese Einrichtung sehen.

[1]) W. Siemens beschreibt den Vorgang folgendermafsen: „Die Mischung von Gasen steigt in einer Ziegelesse empor und geht dann durch das horizontale Kühlrohr, in welchem ein gewisser Teil der Energie der fühlbaren Wärme in Druck umgesetzt wird. In dieser Form ist sie aus zweierlei Ursachen erforderlich: einmal, um alles Eindringen von Luft in den Gaskanal zu verhindern, und zweitens, damit das Gas mit einem geringen Überdrucke bei dem Ofen ankommt.“ (W. Siemens, Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart, Berlin 1879, Seite 19.)

Eine kräftigere Wirkung als durch einfache Abkühlung von aufsen wird erzielt, wenn man das Gas mit kaltem, auf eine grofse Fläche verteiltem Wasser in Berührung bringt, sei es, dafs man dieses in zahlreichen feinen Strahlen dem Gase entgegenführt, oder dafs man gitterartig übereinanderliegende Stäbe, zwischen denen das Gas hindurchzieht, damit berieselt. Eine Einrichtung dieser Art, von dem Schweden Lundin eingeführt und zuerst für die Wasserverdichtung bei Gas aus Sägespänen bestimmt, später in gleicher oder ähnlicher Form auch für Gas aus Braunkohlen und anderen Brennstoffen verwendet, ist in Abb. 29 dargestellt[1]). Das Gas tritt, aus dem Rohre *a* kommend, in die Kammer *d*, in welcher es der Berührung zahlreicher feiner Wasserstrahlen ausgesetzt wird. Im Raume *h* ist es alsdann gezwungen, ein aus kreuzweise übereinandergelegten Eisenstäben gebildetes Gitter *g* zu durchströmen, welches von obenher mit Wasser berieselt wird. Für einen regelmäfsigen Abflufs des eingeleiteten und verdichteten Wassers wie des sich absetzenden Teers wird durch eine vom Boden der Kammer ausgehende Leitung Sorge getragen. *c* und *f* sind Mannlöcher[2]).

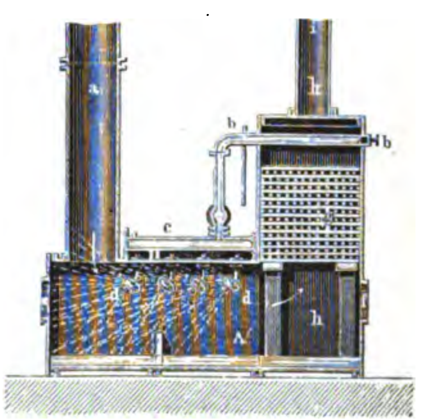


Abb. 29.

Immerhin ist, wie schon hervorgehoben wurde, jede Abkühlung des Gases gleichbedeutend mit einem Wärmeverluste, und es würde widersinnig sein, sie absichtlich vorzunehmen, wenn nicht ein sehr reichlicher Wassergehalt des Gases eine zwingende Veranlassung dazu gibt. Wenn z. B. 1 kg Braunkohlen, deren Wärmeleistung sich auf 6000 W.-E. beziffern möge, bei der Gaserzeugung 3,8 kg trockenes Gas neben 0,85 kg Wasserdampf von 300° liefert, und man kühlt dieses Gas auf ungefähr 20° ab, um den gröfsten Teil des Wassergehalts zu entfernen, so entzieht man dem Gase (nach Mafsgabe seiner spezifischen Wärme) ungefähr 300 W.-E., $^1/_{20}$ von dem Brennwerte der Kohlen geht demnach hierbei verloren, und der Verlust wächst mit der Temperatur, welche das Gas vor der Abkühlung besafs.

Bei Gas aus Stein- und älteren Braunkohlen pflegt man daher in jetziger Zeit eine absichtliche Abkühlung nicht mehr anzuwenden;

---

[1]) Aus B. Kerl, Grundrifs der allgemeinen Hüttenkunde, Seite 190.

[2]) Abbildungen neuerer Vorrichtungen zur Wasserentziehung durch Abkühlung: von Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens, Leipzig 1885, Taf. 1—3; R. Åkermann, Bidrag till utredning af frågan om generering utaf bränslegas, Stockholm 1891, Pl. 13, 14, 15 (Sonderabdruck aus Jernkontorets Annaler für 1891), in deutscher Übersetzung im Jahrbuche der k. k. österreichischen Bergakademien 1892, Seite 82; „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 699 und 700 (Odelstjerna).

zweckdienlich kann sie bisweilen bei Gas aus Holz, Torf oder Ligniten sein, wenn hohe Verbrennungstemperaturen erzielt werden sollen, doch sucht man auch bei Benutzung dieser Brennstoffe durch vorausgehende Trocknung die Abkühlungsvorrichtungen, wenn irgend möglich, entbehrlich zu machen.

e) Das Wassergas.

Dem schon mehrfach besprochenen Vorgange, einer Zerlegung von Wasserdampf durch glühende Kohlen nach der Gleichung $H_2O + C = 2H + CO$, verdankt das Wassergas sein Entstehen. Vorausgesetzt, dafs es möglich sei, den Vorgang in der durch die Gleichung angegebenen Weise durchzuführen, würde das Wassergas bestehen aus:

Wasserstoff. .	50 Raumteilen oder	6,7 Gewichtsteilen
Kohlenoxyd. .	50 „ „	93,3 „

Auch hierbei spielt jedoch die Temperatur eine Rolle. Während in Weifsglut der Vorgang in der Tat annähernd genau der obigen Gleichung gemäfs verläuft, entsteht in niedrigerer Temperatur Kohlendioxyd neben Kohlenoxyd, und bei 500° C., also in dunkler Rotglut, findet überhaupt keine Kohlenoxydbildung mehr statt. Dem Vorgange der Kohlendioxydbildung entspricht die Gleichung $2H_2O + C = 4H + CO_2$. Versuchsergebnisse von Harris über den Einflufs der Temperatur auf die Zusammensetzung des erfolgenden Gases und die Menge des zersetzten Wasserdampfs wurden auf Seite 51 mitgeteilt.

Bei der Darstellung im grofsen verwendet man jedoch nicht reinen Kohlenstoff, sondern Koks, Anthracite oder sonstige Brennstoffe, wodurch fernere Abweichungen in der Zusammensetzung entstehen. Gewöhnlich bewegt sich daher diese Zusammensetzung innerhalb folgender Grenzen:

	Raumteile		Gewichtsteile im Mittel
Wasserstoff . .	44 —53,	im Mittel 48 v. H.,	5,9 v. H.
Kohlenoxyd . .	45 —40,	„ „ 43 „ „	75,4 „ „
Methan. . . .	4 — 0,	„ „ 1 „ „	1,0 „ „
Kohlendioxyd .	1,5 — 6,	„ „ 3,5 „ „	9,9 „ „
Stickstoff . . .	8 — 1,	„ „ 4,5 „ „	7,8 „ „

1 kg Wassergas von dieser durchschnittlichen Zusammensetzung entwickelt bei der Verbrennung 3630 W.-E.; 1 cbm wiegt 0,71 kg und entwickelt 2580 W.-E.

Das Wassergas besitzt demnach eine erheblich gröfsere Wärmeleistung als das an Stickstoff reiche Luftgas und ist befähigter als dieses, auch ohne Vorwärmung hohe Temperaturen zu entwickeln[1]).

Diese Eigenschaften des Wassergases haben nicht selten zu übertriebenen Vorstellungen von dem Nutzen verleitet, welchen

[1]) Die theoretische, nach der Gleichung auf Seite 60 berechnete Verbrennungstemperatur des Luftgases beziffert sich, wenn man die eintretende Dissoziation unberücksichtigt läfst, im Mittel auf 1925° C., diejenige des Wassergases auf 2470° C.

die Darstellung und Verwendung des Wassergases zu gewähren vermag.

Jene Zerlegung des Wasserdampfes durch glühende Kohlen erheischt, wie auf Seite 116 erläutert wurde, einen beträchtlichen Wärmeverbrauch. Während bei der Luftgasdarstellung die von den Kohlen bei ihrer Vergasung entwickelte Wärme ausreichend ist, nicht allein die Entgasung der etwa verwendeten rohen Brennstoffe zu bewirken, sondern auch das gebildete Gas auf eine mehr oder minder hohe Temperatur zu erhitzen, findet, wie durch Rechnung nachgewiesen wurde, bei der Wassergasdarstellung für jedes Kilogramm vergaster Kohle statt der Wärmeerzeugung ein Mehrverbrauch von Wärme statt, welcher bei ausschliefslicher Kohlenoxydbildung 2326 W.-E., bei ausschliefslicher Kohlendioxydbildung 1513 W.-E. beträgt. Dieser Wärmeverbrauch mufs gedeckt werden, damit nicht die Temperatur im Gaserzeuger stetig sinke und schliefslich die Gasbildung ganz aufhöre.

Dafs bei der Wassergaserzeugung an und für sich nicht etwa eine günstigere Ausnutzung des verwendeten rohen Brennstoffs stattfindet als bei der Luftgaserzeugung (wie man früher wohl behauptet hat), folgt hieraus von selbst. Man stellt ein Gas dar, welches zwar bei seiner Verbrennung eine gröfsere Wärmemenge entwickelt als die gleiche Menge Luftgas, aber bei seiner Erzeugung die gleiche Wärmemenge mehr verbraucht. Der Vorgang ist der Ausstellung eines Wechsels im Handelsverkehr vergleichbar; bei der Darstellung des Gases entnimmt man unter Einzahlung des Wärmebetrags einen Wechsel, dessen Betrag bei der Verbrennung ausgezahlt wird. Wie aber bei dem Wechselverkehr Spesen unvermeidlich sind, findet bei der Wassergasdarstellung für die Erzeugung des erforderlichen Wasserdampfs ein Brennstoffverbrauch statt, welcher bei der Verbrennung des Gases keine Deckung findet. Dagegen kann allerdings die Ausnutzung der durch Verbrennung von Wassergas entwickelten Wärme in manchen Fällen sich günstiger gestalten als bei Benutzung von Luftgas, weil die höhere Verbrennungstemperatur des ersteren die Wärmeabgabe befördert und die Menge der aus dem Erhitzungsraume abziehenden und dabei Wärme entführenden Verbrennungserzeugnisse des Wassergases bei gleicher Wärmeentwicklung geringer ist als die des Luftgases[1]).

Jenen für die Wassergasdarstellung erforderlichen Wärmeverbrauch deckt man nun bei der Darstellung im grofsen, indem man durch denselben Gaserzeuger abwechselnd — und zwar in entgegengesetzter Richtung, entsprechend der Regel des Gegenstromgesetzes (S. 63) — Luft und Wasserdampf hindurchführt. Bei dem Hindurchleiten von Luft entsteht Kohlenoxyd oder Kohlendioxyd, gewöhnlich ein Gemisch beider Gase, neben dem von der Luft mitgeführten Stickstoff. Die Kohlendioxydbildung ist um so reichlicher, in je umfänglicherem Mafse die auf Seite 46 aufgestellten Bedingungen für die Entstehung dieses Gases erfüllt werden (reich-

[1]) Berechnung dieser abziehenden Wärme: A. Ledebur, Die Gasfeuerungen, Seite 70.

liche Luftmengen mit schwacher Pressung, dichte, grofsstückige Brennstoffe). In jedem Falle wird hierbei überschüssige Wärme erzeugt, und die Kohlen kommen allmählich in Weifsglut; bei der Wassergasdarstellung sinkt die Temperatur rasch. Da die Temperatur bei dem Hindurchleiten von Luft um so rascher steigt, je weniger Wasser und flüchtige Bestandteile die Brennstoffe enthalten, benutzt man vorwiegend Koks, Anthracite oder anthracitartige Steinkohlen für die Wassergasdarstellung.

Rechnungsmäfsig müssen bei ausschliefslicher Bildung von Kohlendioxyd 0,3 kg Kohle, bei ausschliefslicher Bildung von Kohlenoxyd 0,9 kg Kohle durch Luft verbrannt werden, um den Wärmeverbrauch bei der Wassergasdarstellung aus 1 kg Kohle zu decken; da jedoch Wärmeverluste unvermeidlich sind, und da insbesondere auch die Gase den Gaserzeuger in hoch erhitztem Zustande verlassen, ist der wirkliche Verbrauch an Kohlen höher. Man erhält aus 1 kg Kohle (einschliefslich der zum Warmblasen benutzten) 2—2,5 cbm Wassergas, wenn man beim Warmblasen vorwiegend Kohlendioxyd erzeugt, dagegen nur etwa 1 cbm Wassergas, wenn dabei reichliche Mengen von Kohlenoxyd erfolgen.

Wegen der stattfindenden Schwankungen in der Zusammensetzung des Wassergases während des Blasens wird das erzeugte Gas zunächst in einem geräumigen Ausgleichbehälter gesammelt, von welchem es nun erst den Bestimmungsorten zugeführt wird.

Die Kosten einer Anlage für Wassergaserzeugung sind höher, die Bedienung ist weniger einfach als bei Luftgaserzeugung; die für Wassergaserzeugung geeigneten Brennstoffe sind in den meisten Gegenden kostspieliger als die für Luftgaserzeugung benutzbaren. Die bisherigen Versuche, Wassergas an Stelle des Luftgases in den Öfen des Eisenhüttenbetriebes als Heizstoff zu benutzen, haben in der Regel eine Verteuerung der Betriebskosten zur Folge gehabt. Erfolgreicher ist seine Anwendung in Fällen gewesen, wo man mit einfachen Hilfsmitteln rasch hohe Temperaturen erzeugen will, z. B. beim Schweifsen bestimmter Gegenstände. Auch zu Beleuchtungszwecken findet das Wassergas an Stelle des kostspieligeren Leuchtgases zunehmende Benutzung, indem man es mit kohlenstoffreichem Kohlenwasserstoff (Aethylen) mischt. Von einer Besprechung der für seine Erzeugung erforderlichen Vorrichtungen kann in Rücksicht auf die sehr beschränkte Wichtigkeit, welche das Wassergas für den eigentlichen Eisenhüttenbetrieb besitzt, hier Abstand genommen werden.

f) Das Mischgas.

Im Jahre 1869 machte Lürmann den Vorschlag, in einen heifsgehenden Luftgaserzeuger neben der atmosphärischen Luft Wasserdampf einzublasen, um die überschüssig entwickelte Wärme zur Zerlegung des Wasserdampfs unter Einwirkung der glühenden Kohlen nutzbar zu machen und solcherart ein an brennbaren Bestandteilen reicheres Gas als das gewöhnliche Luftgas zu ge-

winnen[1]. Erst später ist jedoch von anderen Lürmanns Vorschlag mit Erfolg zur Ausführung gebracht worden. Man nennt solches Gas, welches ein Gemisch aus Luft- und Wassergas ist, am treffendsten Mischgas; sonstige, ziemlich häufig in Anwendung kommende, wenn auch weniger gut gewählte Benennungen sind Dowsongas, Kraftgas[2]).

Wie die Bereitung des Wassergases ist die des Mischgases mit einem Wärmeverbrauche im Gaserzeuger verbunden. Sinkt dabei die Temperatur unter Weifsglut, so entsteht neben Kohlenoxyd Kohlendioxyd, wobei ebenfalls Wärmeverbrauch stattfindet; bei fernerer Abnahme der Temperatur hört zunächst die Kohlenoxydbildung, dann auch die Kohlendioxydbildung auf, und der Wasserdampf geht unzersetzt durch den Gaserzeuger hindurch[3]). Dafs hierdurch auch die Zusammensetzung des neben dem Wassergase entstehenden Luftgases Einbufse erleiden mufs, ergibt sich aus dem früher Gesagten über die Vorgänge bei dessen Entstehung. Hieraus folgt aber, dafs eine ununterbrochene Fortführung des Verfahrens nur dann möglich ist, wenn die Menge des eingeblasenen Wasserdampfs ein von der im Gaserzeuger entwickelten Temperatur abhängiges Mafs nicht überschreitet, und dafs die Zusammensetzung des erfolgenden Mischgases wegen der Zunahme sowohl des Kohlendioxydgehalts als auch des unzersetzt bleibenden Wasserdampfgehalts um so ungünstiger wird, je weiter die Temperatur unter eine ziemlich hochliegende Grenze sinkt.

Da nun diejenigen Brennstoffe, welche bei der Erhitzung die geringste Menge flüchtiger Körper entlassen, also verkohlte Brennstoffe und Anthracite, im Luftgaserzeuger die höchsten Temperaturen entwickeln, eignen sich diese auch vornehmlich zur Mischgasbereitung. Auch der Umstand, dafs der eingeblasene Wasserdampf die lästige Teerbildung aus gasreichen Brennstoffen befördert, macht diese ungeeigneter für den in Rede stehenden Zweck. Bunte schliefst aus den Ergebnissen angestellter Versuche, dafs man in heifsgehenden, mit Koks gespeisten Gaserzeugern 0,71 kg Wasserdampf auf je 1 kg vergaster Koks zuführen könne, ohne den Brennwert der Gase zu schädigen[4]); de Boischevalier gibt an, dafs auf 1 kg Kohlenstoff 0,68 kg Wasserdampf eingeblasen werden könne[5]); Bayard gibt 0,58 kg Wasserdampf auf 1 kg Brennstoff

---

[1]) Dinglers polytechnisches Journal, Bd. 195, Seite 254; „Stahl und Eisen" 1892, Seite 477.

[2]) Der Name Kraftgas ist von der Anwendung des Gases zum Betriebe von Gaskraftmaschinen hergenommen.

[3]) Schon lange bevor dieser Zeitpunkt eintritt, entweicht ein Teil des Wasserdampfs unzersetzt mit dem Gase, und seine Menge nimmt zu, je weiter die Temperatur sinkt.

[4]) Kommissionsbericht II im Journal für Gasbeleuchtung 1878 und 1879; auch Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 34. Eine Gegenüberstellung des zur Zerlegung dieser Dampfmenge erforderlichen Wärmeverbrauchs und der Wärmeerzeugung durch Verbrennung des Kohlenstoffs von Koks mit 87—90 v. H. Kohlenstoff ergibt, dafs jener Dampfverbrauch nur möglich ist, wenn ein ziemlich reichlicher Teil des Kohlenstoffs zu Kohlendioxyd verbrannt wird. Die unten mitgeteilte Zusammensetzung des bei Buntes Versuchen gewonnenen Gases liefert die Bestätigung dafür.

[5]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 1320.

(Anthracit, Koks) als das zulässige Verhältnis an[1]), und Schmidhammer berechnete, dafs bei Vergasung von Rohkohle mit 67,6 v. H. Kohlenstoff (die übrigens aus den besprochenen Gründen an und für sich wenig brauchbar für das Verfahren sein würde) schon bei 0,2 kg Wasserdampf auf 1 kg Brennstoff die zulässige Grenze erreicht werde[2]).

Die Zusammensetzung des unter verschiedenen Verhältnissen erzeugten Mischgases zeigt demnach ziemlich erhebliche Abweichungen, je nachdem die Temperatur höher oder niedriger, die Menge des zugeführten Wasserdampfs reichlicher oder beschränkter war. Nachfolgende Beispiele lassen diese Unterschiede erkennen. Die Ziffern geben die Zusammensetzung in Raumteilen an.

	1.	2.	3.	4.	5.
Kohlenoxyd . . .	24,3	18,4	26,0	29,0—26,6	14,6
Wasserstoff . . .	3,8	12,9	14,1	5,8— 9,1	25,6
Kohlenwasserstoff .	—	—	—	0,9— 2,2	3,6
Kohlendioxyd . . .	4,6	9,0	6,9	4,0— 6,5	12,6
Stickstoff	67,9	59,7	52,8	55,8—60,9	43,6

1. ist Luftgas aus Koks ohne Wasserdampfzuführung
2. ist Mischgas aus Koks mit 0,71 kg Wasserdampf auf 1 kg Koks

   } nach Bunte; vergl. Fufsanmerkung 4 auf Seite 133;
3. ist Mischgas nach Fischer, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, Seite 19;
4. sind Grenzwerte der Zusammensetzung des Mischgases bei Versuchen an der Kraftgasanlage des Gas- und Wasserwerks zu Basel; nach E. Meyer, Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Seite 1332;
5. Mischgas eines englischen Eisenwerks, bei dessen Erzeugung 1 kg Dampf auf 1 kg Kohlenklein zugeführt wurde, die Temperatur also jedenfalls niedrig war („Stahl und Eisen" 1904, Seite 56).

Obschon eine Erhöhung des Brennwertes der verwendeten festen Brennstoffe ebensowenig durch die Mischgas- als durch die Wassergasdarstellung zu erreichen ist, kann doch ein Mischgas, welches unter günstigen Verhältnissen aus einem gasarmen Brennstoffe erzeugt wurde, vor dem aus demselben Brennstoffe gewonnenen Luftgase den Vorteil einer höheren Verbrennungstemperatur besitzen; ein Vergleich der Zusammensetzung des Mischgases mit der auf Seite 114 mitgeteilten Zusammensetzung des Luftgases lehrt indessen, dafs der Unterschied verschwindet, wenn letzteres aus gut dafür geeigneten gasreichen Brennstoffen gewonnen wurde, welche für Mischgasbereitung nicht geeignet sein würden. Verläfst das Luftgas den Gaserzeuger mit hoher Temperatur und wird auf seinem Wege abgekühlt, so geht dadurch Wärme verloren, welche bei der Mischgaserzeugung zur Zerlegung des Wasserdampfs nutzenbringend verwendet werden kann, so dafs in diesem Falle auch

[1]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 956.
[2]) „Stahl uud Eisen" 1889, Seite 541.

eine günstigere Ausnutzung des vergasten Brennstoffs sich erreichen läfst. Durch die Erzeugung des für die Mischgasbereitung erforderlichen überhitzten Wasserdampfs aber entstehen Kosten, welche bei der Darstellung des Luftgases wegfallen.

Alle diese Umstände zusammen liefern die Begründung dafür, dafs die Mischgasdarstellung vornehmlich da Bedeutung besitzt, wo Anthracite oder als Nebenerzeugnis erfolgende Koks (z. B. in Leuchtgasfabriken) für die Bereitung von Brenngas benutzt werden; doch führt man kleinere Mengen von Wasserdampf auch bei zahlreichen Gaserzeugern ein, welche mit gasreicheren Kohlen betrieben werden. Man hat dabei zugleich das Ziel im Auge, durch die stattfindende Abkühlung des Rostes diesen zu schonen und die Entfernung der am Roste sich weniger festsetzenden Schlacke zu erleichtern. Eine Zwischenstufe zwischen dem reinen Luftgase und dem Mischgase bildet jenes auf Seite 115 erwähnte, mit feuchter Luft erzeugte Luftgas, dessen Zusammensetzung nicht selten ebenso günstig ist wie die eines guten Mischgases.

Die Gaserzeuger zur Gewinnung des Mischgases sind denen für Erzeugung von Luftgas gleich oder ähnlich. Ein Gaserzeuger der letzteren Art läfst sich zur Mischgasbereitung verwenden, wenn man an geeigneter Stelle eine Dampfdüse einlegt. Die in Abb. 24 und 25 dargestellten, auf Seite 126 beschriebenen Gaserzeuger der Eisenhütte Phönix, welche ursprünglich für Luftgaserzeugung bestimmt waren, dienen jetzt für Mischgasbereitung, nachdem man unter jedem Roste zwei Dampfdüsen von je 5 mm Durchmesser eingelegt hat. Der Dampf wird mit fünf Atmosphären Spannung zugeführt. Das aus einer Kohle mit 29,1 v. H. flüchtigen Bestandteilen, 2,5 v. H. Feuchtigkeit und 8,9 v. H. Asche erzeugte Gas enthält im Mittel

Kohlenoxyd	22,6	Raumteile
Wasserstoff	9,8	„
Kohlendioxyd	5,9	„

neben Stickstoff und vermutlich Methan. Abbildungen von Gaserzeugern, welche ausschliefslich für Mischgasdarstellung bestimmt sind, enthalten die unter Literatur genannten Abhandlungen von Bayard, de Boischevalier und Meyer.

Literatur.

A. Über sämtliche Arten von Brennstoffen.

a) Einzelne Werke.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von Franz Kupelwieser, Bd. 1, Seite 70—168. Paris 1877.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Bd. 1, Seite 200 ff. Leipzig 1881.

F. Fischer, Die chemische Technologie der Brennstoffe. Braunschweig 1897.

Th. Beckert, Feuerungskunde (1. Abteilung des Leitfadens der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl.). Berlin 1898.

b) Abhandlungen in Zeitschriften.

W. Thörner, Beiträge zum Studium von Steinkohlen, Koks und Holzkohlen als Hochofenbrennmaterial. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 513; 1886, Seite 72.

H. v. Jüptner, Energie und Ausnutzbarkeit fester, flüssiger und gasförmiger Brennmaterialien. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 229.

H. v. Jüptner, Die Bestimmung des Heizwertes von Brennmaterialien. Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Bd. 2, Heft 12 (1898).

F. W. Lürmann, Zur Wertbestimmung der Brennstoffe. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 52.

L. C. Wolff, Kalorimetrische Heizwertbestimmung. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1897, Seite 763.

A. Halleux, De l'emploi du charbon pulvérisé dans les foyers des chaudières et des fours métallurgiques. Revue universelle des mines 1899, Seite 21.

B. Über Holz und Holzkohlendarstellung.

a) Einzelne Werke.

A. v. Kerpely, Die Anlage und Einrichtung der Eisenhütten. Seite 412. (Darren des Holzes.) Leipzig 1873.

C. v. Berg, Anleitung zum Verkohlen des Holzes. 2. Aufl. Darmstadt 1860.

Gillot, De la carbonisation du bois. Paris 1872.

Dromart, Traité de la carbonisation en forêts. Paris 1880.

M. Klar, Technologie der Holzverkohlung und der Fabrikation von Essigsäure, Aceton, Methylalkohol und sonstiger Holzdestillate. Berlin 1903.

b) Abhandlungen.

T. Egleston, The manufacture of charcoal in kilns. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 8, Seite 373; auszugsweise in der Zeitschr. d. berg- u. hüttenm. Vereins f. Steiermark u. Kärnten 1880, Seite 516.

J. Birkinbine, The production of charcoal for Iron Works. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 7, Seite 149; auszugsweise in Berg- u. hüttenm. Ztg. 1878, Seite 194.

J. Birkinbine, Charcoal as a fuel for metallurgical processes. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 9, Seite 78.

Retort plant at Luther, Michigan. Journal of the United States association of charcoal iron workers, Bd. 5, Seite 9.

Charcoal kiln at Boxholm, Sweden. Journal of the United States association of charcoal iron workers, Bd. 6, Seite 107.

Kontinuierlicher Verkohlungsofen für Holz. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 932.

W. Sóltz, Holzverkohlung von H. Blank in Trzynietz. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 255, Seite 435.

Holzverkohlung in Lohe. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1893, Seite 1490.

E. A. Sjöstedt, A new charcoal retort plant. Iron Age vom 28. Januar 1904, Seite 16; deutsch in Österr. Zeitschrift f. Berg- und Hüttenwesen 1904, Seite 211; „Stahl und Eisen" 1905, Seite 309.

C. Über Torf, seine Aufbereitung und Verkohlung.

a) Einzelne Werke.

A. Vogel, Der Torf, seine Natur und Bedeutung. Braunschweig 1859.

A. Hausding, Handbuch der Torfgewinnung und Torfverwertung. 2. Aufl. Berlin 1904.

E. Birnbaum und K. Birnbaum, Die Torfindustrie und die Moorkultur. Braunschweig 1880.

Th. Koller, Die Torfindustrie. Wien, Pest, Leipzig 1898.

b) Abhandlungen.

C. Schlickeisen, Verbesserungen an Torfmaschinen. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 234, Seite 181.
C. Schlickeisen, Zur Geschichte der Torfmaschinen. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 238, Seite 199.
Mecke und Sanders Torfmaschinen. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 238, Seite 199.
A. M. Balling, Die Verwendung des Torfes bei dem Eisenhüttenwerke Josefsthal. Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1877, Seite 495 (mit Abbildung der Torfverkohlungsöfen).
A. Enigl, Über Mitverwendung von Maschinentorf beim Hochofenbetriebe. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins f. Steiermark u. Kärnten 1879, Seite 41.
Dr. Holtz, Über Torfverkohlung. Zeitschr. für angew. Chemie 1897, Seite 772.

D. Über Braunkohle.

a) Einzelne Werke.

C. F. Zincken, Die Braunkohle und ihre Verwendung. 2 Bde. Hannover 1867 und 1871.

b) Abhandlungen.

A. Scheurer-Kestner et Meunier, Composition et chaleur de combustion des lignites. Annales de chim. et de phys., Reihe 4, Bd. 26, Seite 80.
F. Kupelwieser, Studien über die Verwendung von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe. Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, Seite 260.
F. Friederici, Über Verwendung von Braunkohlen im Hochofen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 2 (mit Abbildung der Verkokungsöfen).

E. Über Steinkohle und ihre Verkokung.

a) Einzelne Werke.

F. Toula, Die Steinkohle, ihre Eigenschaften, Vorkommen, Entstehung und nationalökonomische Bedeutung. Wien 1888.
A. Burat, Epuration de la houille, criblage, triage et lavage. Paris 1881.
O. Bilharz, Die mechanische Aufbereitung der mineralischen Kohlen. Leipzig 1898.
F. Muck, Die Chemie der Steinkohle. Leipzig 1891.
F. Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund. Berlin 1887.
F. Simmersbach, Die Fortschritte der Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund in den letzten zehn Jahren. Berlin 1896 (Sonderabdruck aus der Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, Bd. 44, Seite 402).
E. F. Dürre, Die neueren Koksöfen. Leipzig 1892.
F. W. Lürmann, Die Leistungen und Vorteile der Semet-Solvay-Koksöfen. Osnabrück 1893.
Oscar Simmersbach, Grundlagen der Koks-Chemie. Berlin 1895.

b) Abhandlungen.

A. Scheurer-Kestner et Meunier, Recherches sur la combustion de la houille. Bulletin de la Société de Mulhouse, Bd. 38, Seite 195, 311; Bd. 39, S. 385; Comptes rendus, Bd. 66, Seite 1047, 1220; Bd. 67, Seite 659, 1002; Bd. 68, Seite 608; Bd. 69, Seite 412; auszugsweise in Dinglers polytechn. Journal, Bd. 196, Seite 22 und 38.
M. L. Gruner, Pouvoir calorifique et classification des houilles. Annales des mines, Reihe 7, Bd. 4, Seite 169; Berg- und hüttenm. Zeitung 1874, Seite 96; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 213, Seite 244.
C. Hilt, Die Beziehungen zwischen Zusammensetzungen und technischen Eigenschaften der Steinkohlen. Dinglers polytechn. Journal,

Bd. 208, Seite 424; Polytechn. Zentralblatt 1873, Seite 1018; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1873, Seite 193.
W. Smith, The recovery of byeproducts from coal. Journal of the Iron and Steel Institute 1884, Seite 517.
Fr. Lürmann, Die Gewinnung der flüchtigen Produkte aus der Kohle. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 349.
Fr. Lürmann, Mitteilungen über die Fortschritte in Koksofeneinrichtungen mit besonderer Berücksichtigung der Gewinnung der Nebenerzeugnisse. „Stahl und Eisen 1892, Seite 186.
Fr. Lürmann, Koksöfen mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse nach Semet-Solvay. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 828.
A. Hüssener, Die Wettverkokung zwischen dem Otto-Hoffmann-Ofen und dem Hüssener-Ofensystem. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 1105.
Dr. Otto, Die neuesten Resultate bezüglich der Gewinnung der Nebenprodukte bei Koksöfen. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 396.
Otto-Hoffmann- und Semet-Solvay-Koksöfen. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 912, 962.
B. Leistikow, Entwicklung und Gestaltung der Koksindustrie durch die Verwertung der Nebenerzeugnisse. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 818.
Zur Gewinnung der Nebenerzeugnisse bei der Koksfabrikation. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 59.
H. Wedding, Amerikanische Koks. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 923.
Über den Wert der Abhitze und des Gasüberschusses der Koksöfen. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 595.
Betrachtungen über den Verkokungsprozefs. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 202, 255.
F. Brunck, Über ein neues Koksofensystem und dessen Entstehung. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 676.
R. Brunck, Über Koksöfen System Brunck. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 685.
Fortschritte in der Ausnutzung der Koksofengase. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 90.
J. Latoret, Note rétrospective sur divers systèmes de fours à coke. Revue universelle des mines, Reihe 3, Bd. 40, Seite 61; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1897, Seite 1000.
F. Simmersbach, Neue Ergebnisse der deutschen Koksindustrie. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 641.
F. Simmersbach, Die deutsche Koksindustrie in den letzten zehn Jahren. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1167.
J. Elsner, Koksöfen von Dr. von Bauer. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 361.
Zum heutigen Wettbewerb der in- und ausländischen Koksofensysteme. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 1055.
Dr. K. Hilgenstock, Koksöfen mit Unterfeuerung. Glückauf 1899, Nr. 49.
F. Frölich, Koksöfen. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903, Seite 1150, 1298.
F. Frölich, Koksöfen Bauart Collin. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, Seite 88.
Göhrum, Einiges über den weiteren Ausbau und den Betrieb von Koksanstalten. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1205.
O. Simmersbach, Über neuere Koksofen-Beschickungsanlagen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1374.
O. Simmersbach, Zur Frage der Steinkohlenverkokung. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 446.
O. Simmersbach, Über die Verkokung magerer Steinkohlen unter Zuhilfenahme mechanischer Stampfvorrichtungen. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 1078.
Über Kohlenstampfvorrichtungen. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1248; 1901, Seite 73.
F. Muck, Über Bindung des Schwefels in Steinkohle und Koks und die Erzeugung von schwefelarmen Koks. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 468.
Th. M. Drown, The condition of sulphur in coal and its relation to coking. Transactions of the Amer. Inst. of Min. Eng. Bd. 9, Seite 656.

O. Simmersbach, Über den Schwefelgehalt der Koks. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 18.
O. Simmersbach, Die Bewertung von Hochofen- und Gießereikoks. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 157.
J. Fulton, Die physikalischen Eigenschaften der Koks. Berg- und hüttenm. Ztg. 1884, Seite 525; aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 12, Seite 212.
P. Dewey, Porosity and specific gravity of coke. Transactions of the Amer. Institute of Mining Engineers, Bd. 12, Seite 111.
J. L. Bell, The blast furnace value of coke. Engineering, Bd. 39, Seite 636 (daraus in „Stahl und Eisen" 1885, S. 297).
F. Schreiber, Der Koks, seine Struktur und seine Verwertung zu Gießereizwecken. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 521.

F. Über flüssige Brennstoffe.

Thieme, Petroleumfeuerung Patent Tentelew. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 738.
J. Kowarski, Naphtafeuerung. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 915.
M. Mayer, Die Ölfeuerungsanlage auf der Weltausstellung zu Chicago. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 44.
J. Preiner, Verwendung von flüssigem Brennstoff für hüttenmännische Zwecke in Rußland. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 424.
Über die Erdöl- und Masutfeuerung. Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1901, Seite 89.
H. Winkel, Naphtafeuerungen. Berg- und hüttenm. Zeitung 1903, Seite 301, 337.
F. Heck, Masutfeuerungen und ihre Anwendung. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1430.

G. Über Gase und Gaserzeugung.

a) Einzelne Werke.

L. Ramdohr, Die Gasfeuerung. 2. Aufl. Leipzig 1881.
H. Stegmann, Gasfeuerung und Gasöfen. 2. Aufl. Berlin 1881.
F. Steinmann, Kompendium der Gasfeuerung. 3. Aufl. Leipzig 1900.
A. Ledebur, Die Gasfeuerungen für metallurgische Zwecke. Leipzig 1891.
A. Naumann, Technisch-thermochemische Berechnungen zur Heizung, insbesondere mit gasförmigen Brennstoffen. Braunschweig 1893.
M. Geitel, Das Wassergas und seine Verwendung in der Technik. 3. Aufl. Berlin 1899.

b) Abhandlungen.

A. Carnegie, Natural gas. Engineering, Bd. 39, Seite 609; Bd. 40, Seite 36.
Brügmann, Das Vorkommen des Erdgases in Nordamerika. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1887, Seite 120.
K. Sorge, Vorkommen und Verwendung des natürlichen Gases in Pittsburg. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 93.
A. Holley, On the use of natural gas for puddling and heating at Leechburg in Pennsylvania. Transact. of the Amer. Inst. of Ming. Eng., Bd. 4, Seite 32; Engineering and Mining Journal, Bd. 22, Seite 185.
Natürliches Gas in den Vereinigten Staaten Nordamerikas. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 476.
Fr. C. G. Müller, Beiträge zur Charakteristik moderner Feuerungen. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 395, 465.
H. v. Jüptner und F. Toldt, Chemisch-kalorische Studien über Generatoren und Martinöfen. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1888, Seite 292; 1890, Seite 428.
R. Akerman, Beitrag zur Entwicklung der Frage der Heizgasgewinnung. Aus den Jernkontorets Annaler 1891 im Jahrbuche der k. k. österr. Bergakademien 1892, Seite 81.

Blezinger, Über Gasfeuerungen. „Stahl und Eisen 1894, Seite 462.
H. Brauns, Duff-Generatoranlagen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1191.
Schmidhammer, Beiträge zur vorteilhaftesten Vergasung der Kohle. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 541.
P. Bayard, Beitrag zur Gasfeuerung. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 952.
A. de Boischevalier, Darstellung und Verwendung von Kraftgas. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1894, Seite 1319.
E. Meyer, Kraftgasanlagen mit Dowsongas. Zeitschrift des Ver. deutsch. Ingenieure 1895, Seite 1523, 1537.
A. Pütsch, Neuere Gasfeuerungen. Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes 1899, Seite 37.
The Morgan continuous gas producer. Iron Age 1901, Heft 3, Seite 12.
H. Hempel, Untersuchungen der mit konzentriertem Sauerstoff gewonnenen Generatorgase. Verhandl. d. Vereins für Beförderung des Gewerbfleißes 1902, Seite 242.
Fritz Lürmann jr., Die thermischen Vorgänge im Gaserzeuger. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 433, 515, 1151.
A. Ledebur, Über die Veränderungen in der Zusammensetzung des Heizgases zwischen dem Gaserzeuger und dem Ofen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 693.
K. Wendt, Untersuchungen an den Gaserzeugern der Tiegelgufsstahlfabrik Poldihütte. Berlin 1904 (Dissertation).
K. Wendt, Untersuchungen an Gaserzeugern. Zeitschr. des Vereins deutsch. Ing. 1904, Seite 1793.
Fr. Schraml, Die Erzeugung des Mischgases aus rohen Brennstoffen. Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1904, Seite 585.
Ferd. Fischer, Kraftgas. Zeitschr. d. Vereins deutsch. Ing. 1904, Seite 1656.
K. Kutzbach, Die Vergasung der Brennstoffe in Generatoren. Zeitschrift d. Vereins deutsch. Ing. 1905, Seite 233.
Wolff, Generatoren im Hüttenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 387.
K. Wendt, Luftgas oder Mischgas? „Stahl und Eisen 1905, Seite 711.

IV. Die Öfen und feuerfesten Baustoffe.

1. Allgemeines. Wirkungsgrad der Öfen.

Ofen nennt man eine jede Vorrichtung, in welcher durch Verbrennung Wärme zu dem Zwecke entwickelt wird, an andere Körper abgegeben und dadurch nutzbar gemacht zu werden.

Der Form der Öfen und der Art und Weise gemäfs, wie die Erhitzung geschieht, kann man verschiedene, hierunter gekennzeichnete Ofengattungen unterscheiden. Für die Anwendbarkeit einer Ofengattung zu diesem oder jenem Zwecke ist der Wirkungsgrad (die Nutzwirkung) des Ofens von Bedeutung, d. h. das Verhältnis der bei dem betreffenden Verfahren nutzbar gemachten Wärme zu dem Brennwerte des verbrauchten Brennstoffs. Wenn z. B. ein Ofen den Zweck hat, Roheisen mit Koks umzuschmelzen, ohne chemische Veränderungen des Roheisens hervorzurufen, und man für 1 kg umzuschmelzenden Roheisens 0,12 kg Koks gebraucht, so ist die nutzbar gemachte Wärme diejenige, welche von dem flüssigen Roheisen und von der entstandenen, ebenfalls flüssigen Schlacke aufgenommen war. Durch Eingiefsen einer kleinen Menge des geschmolzenen Metalls und der Schlacke in Wasser, dessen

Temperatur vor und nach dem Eingiefsen ermittelt worden war, läfst sich diese Wärme bestimmen. Den Brennwert der Koks kann man annähernd mit Hilfe einer Aschen- und Feuchtigkeitsbestimmung sowie der bekannten Ziffern über die Wärmeleistungsfähigkeit der reinen Koksmasse ermitteln. Die von 1 kg flüssigen Roheisens aufgenommene Wärme betrage z. B. 280 W.-E., und für je 1 kg Roheisen möge 0,1 kg Schlacke erfolgen, welche 470 W.-E. in 1 kg enthalte; der Brennwert von 1 kg Koks mit 10 v. H. Asche betrage 7200 W.-E. Der Wirkungsgrad des Ofens ist in diesem Falle

$$\frac{280 + 0{,}1 \times 470}{0{,}12 \times 7200} = 0{,}37.$$

Nicht immer jedoch gestaltet sich die Ermittlung des Wirkungsgrades so einfach wie in diesem Falle. Soll der Ofen zur Durchführung chemischer Vorgänge verwendet werden, bei denen Wärme verbraucht oder Wärme frei wird (Reduktion, Oxydation), so müssen auch diese Wärmemengen, die sich durch Rechnung ermitteln lassen, berücksichtigt werden. Die zur Durchführung jener chemischen Vorgänge verbrauchte Wärme ist tatsächlich nutzbar gemacht, da eben nur mit ihrer Hilfe das Verfahren möglich wurde, und kommt in den Zähler des Bruches zu der wirklich aufgenommenen, mefsbaren Wärme; die erzeugte Wärme kommt in den Nenner.

2. Die verschiedenen Ofengattungen.

a) Feuer.

Das Feuer bildet die älteste und einfachste Vorrichtung zum Erhitzen der Metalle. Ein Haufen Holzkohlen, zu ebener Erde oder auch in einer Vertiefung des Erdbodens aufgeschüttet und entzündet, diente ursprünglich zur Erhitzung des Metalls, welches entweder unmittelbar hineingesteckt oder, wenn Schmelzungen stattfinden sollten, in einen Tiegel eingeschlossen und mit diesem in das Feuer gestellt wurde. Einfache Gebläse dienten den vorgeschritteneren Völkern zum Entfachen der Glut. Erhaltene Gemälde im alten Theben zeigen uns, dafs schon vor mehreren tausend Jahren in Ägypten Tiegelschmelzen in dieser Weise betrieben wurde[1]), und noch heute finden wir bei manchen Naturvölkern das nämliche einfache Verfahren zum Erhitzen von Metallen in Anwendung. Als Beispiel hierfür kann das in Abb. 30 dargestellte Schmiedefeuer im Barilande am Weifsen Nil dienen[2]).

Um die Kohlen eines solchen Feuers besser zusammenzuhalten, und um die reichlichen Wärmeverluste abzumindern, welche durch den rings um den Kohlenhaufen herum ununterbrochen stattfindenden Luftwechsel veranlafst werden, umgab man später die

---

[1]) Eine derartige Abbildung ist wiedergegeben in Beck, Geschichte des Eisens, Bd. 1, Seite 75; auch Rich. Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern. Leipzig 1884, Seite 4.

[2]) W. v. Harniers Reise am oberen Nil. Darmstadt 1866; daraus in Andree, Metalle bei den Naturvölkern, Seite 9.

Kohlen mit einer niedrigen gemauerten Einfassung; so entstand die jetzt übliche Form des Feuers, dessen bekannteste Anwendung in jeder Schmiedewerkstatt als Schmiedefeuer zu finden ist. Hier — bei dem gewöhnlichen Schmiedefeuer — hat man der bequemeren Benutzung halber das eigentliche Feuer auf einem Unterbau von Tischhöhe angebracht; gröſsere Feuer werden zu ebener Erde angeordnet.

Feuer im allgemeinen sind demnach niedrige, oben offene, kasten- oder grubenartige Behälter, gewöhnlich vierseitig im Grundrisse, in welchem die zur Verarbeitung bestimmten Körper in Berührung mit den verbrennenden festen Brennstoffen erhitzt werden. Als Brennstoffe benutzt man in der Regel verkohlte (meistens Holz-



Abb. 30.

kohlen), im gewöhnlichen Schmiedefeuer dagegen häufiger backende Steinkohlen (Begründung hierfür Seite 74). Die Verbrennungsluft wird den Feuern ausnahmslos durch ein Gebläse zugeführt, und zwar entweder über den Rand des Feuers hinweg durch eine schräg abwärts in das Feuer gerichtete Düse oder auch von unten her in aufsteigender Richtung.

Die Wärmeabgabe ist in den Feuern sehr beschränkt. Die Verbrennungsgase, welche die gröſste Menge der entwickelten Wärme aufnehmen, steigen empor und verlassen alsbald das Feuer, ohne mit dem zu erhitzenden Körper in fernere Berührung getreten zu sein; dieser kann nur durch die unmittelbare Berührung mit den verbrennenden Kohlen und durch die von diesen ausgestrahlte Wärme erhitzt werden. Auſserdem bringt es die ganze Einrichtung der Feuer mit sich, daſs stets nebenbei ein reichlicher Teil Kohlen verbrannt wird, ohne überhaupt Wärme an den zu erhitzenden

Gegenstand abzugeben. Der Wirkungsgrad der Feuer ist daher in jedem Falle sehr ungünstig und selten höher als 0,05, häufig niedriger.

Trotzdem sind auch noch heutzutage die Feuer besonders in Fällen unentbehrlich, wo jedesmal nur kleine Mengen von Erz oder Metall der Erhitzung unterzogen werden sollen. Ihre Anlagekosten sind gering, ihre Wartung ist einfach, Grund genug, sie besonders im Kleinbetriebe häufig als die geeignetste Erhitzungsvorrichtung erscheinen zu lassen. Die Gründe, welche mitunter auch im gröfseren Betriebe ihre Anwendung rechtfertigen können, werden bei Besprechung dieser besonderen Fälle Erwähnung finden.

b) Schachtöfen.

Aus dem mit gemauerter Einfassung versehenen Feuer entstand der Schachtofen, indem man jene Einfassung erhöhte, während man die Luft von untenher eintreten liefs. Die Höhe der Schachtöfen ist mindestens gleich ihrem gröfsten Durchmesser, häufig beträchtlich gröfser; ihre Hauptachse ist senkrecht. Das Ofeninnere (der Schacht) besitzt zylindrische, kegelförmige, gebauchte oder andere Form, je nachdem der Zweck des Ofens diese oder jene Gestalt als geeigneter erscheinen läfst; der Grundrifs des Schachtes ist meistens kreisförmig. Da der Kreis von allen geschlossenen Figuren den geringsten Umfang bei gegebener Fläche besitzt, ist auch der Wärmeverlust durch Abgabe nach aufsen bei einem Schachte mit kreisförmigem Querschnitte am geringsten; wichtiger noch ist der Umstand, dafs die den Schacht anfüllenden festen Körper am gleichmäfsigsten sich abwärts und die bei der Verbrennung entwickelten Gase am gleichmäfsigsten sich aufwärts bewegen, wenn der Abstand der Wände, an welchem die Reibung stattfindet, von der Achse des Schachtes überall gleich, der Querschnitt also ein Kreis ist.

Wie erwähnt, findet die Verbrennung in dem unteren Teile des Schachtofens statt. Die Verbrennungsluft wird mitunter angesaugt, wenn keine rasche Verbrennung stattfinden soll, und der Ofen selbst übernimmt hierbei die Rolle der Esse (z. B. bei Röstöfen); häufiger geschieht die Zuführung durch ein Gebläse.

In wenigen Fällen dient Gas zur Heizung des Ofens, welches alsdann neben oder unmittelbar über der Verbrennungsluft in den Ofen geleitet wird, um mit dieser sich zu mischen; häufiger benutzt man feste Brennstoffe, welche in die obere Öffnung des Ofens, die Gicht, eingeschüttet werden und nun von hier aus allmählich abwärts sinken, um im Verbrennungsraume vergast zu werden. Wollte man in dem letzteren Falle unverkohlte Brennstoffe zur Anwendung bringen, so würden die Vorgänge ähnlich wie in einem mit rohen Brennstoffen betriebenen Gaserzeuger sein: in dem oberen Teile des Ofens würde eine Entgasung stattfinden, und unten würden sich nur entgaste, d. h. verkohlte Brennstoffe vorfinden. Die Entgasung würde einen Wärmeverbrauch erheischen, welcher für den Zweck des Ofens mitunter hinderlich sein kann; die dabei stattfindende Formveränderung der Brennstoffe würde die

Gleichmäfsigkeit des Niederganges beeinträchtigen, besonders dann, wenn man etwa backende Steinkohlen verwenden wollte. Die stattfindende Entwicklung flüchtiger Körper würde aufserdem die Gasspannung im Ofen erhöhen und das Aufsteigen der gasförmigen Verbrennungserzeugnisse erschweren. Deshalb ist es Regel, für den Betrieb der Schachtöfen verkohlte Brennstoffe zu verwenden, und die überwiegend gröfste Menge aller verkohlten Brennstoffe ist für den Betrieb der Schachtöfen bestimmt. Unverkohlte, nicht backende Brennstoffe (magere Steinkohlen, Anthracite) finden ausnahmsweise Verwendung, wenn verkohlungsfähige Brennstoffe nicht zur Verfügung stehen.

Die im Schachtofen zu erhitzenden Körper werden in die Gicht eingebracht, um von hier allmählich sich abwärts zu bewegen in dem Mafse, wie in dem unteren Teile des Ofens eine Entfernung der erhitzten Körper aus dem Ofen bewirkt wird. Auf diese Weise kann ein ununterbrochener Betrieb des Schachtofens aufrechterhalten werden, indem man in angemessenen Zeiträumen unten die erhitzten Körper entfernt, unter Umständen abfliefsen läfst und oben frische nachfüllt[1]). Die unten gebildeten, den gröfsten Teil der entwickelten Wärme enthaltenden Verbrennungsgase aber steigen aufwärts, um aus der Gicht zu entweichen. Dem Gegenstromgesetze (Seite 63) wird demnach in vollem Umfange Folge gegeben. Die aufsteigende Wärme wird durch die niederrückenden Körper aufgenommen und wieder nach unten geführt; in dem Verbrennungsraume entsteht eine hohe Temperatur. Diese ausgedehnte Wärmezurückführung durch die niederrückenden festen Körper erhebt den Schachtofen zu der vollkommensten aller Erhitzungsvorrichtungen, sofern die Eigentümlichkeiten des durchzuführenden Verfahrens seine Anwendung gestatten. Sollen chemische Einwirkungen der aufsteigenden Gase und der niederrückenden Körper aufeinander stattfinden (z. B. Reduktion durch Kohlenoxyd), so werden auch diese durch die lange ausgedehnte gegenseitige Berührung wesentlich erleichtert.

Der Wirkungsgrad der Schachtöfen mit jener entgegengesetzten Bewegung der Gase und festen Körper beziffert sich auf mindestens 0,80, mitunter höher.

c) Flammöfen.

Später als die Feuer und Schachtöfen sind die Flammöfen in Benutzung gekommen. Sie verdanken ihre Entstehung dem Bestreben, rohe, mit Flamme verbrennende Brennstoffe (insbesondere Holz) zur Erhitzung der Körper zu benutzen, ohne diese mit dem Brennstoffe selbst in Berührung zu bringen. Rings um den zu er-

---

[1]) Eine Ausnahme machen die bekannten, zum Erhitzen von Tiegeln mit Koks oder Holzkohlen dienenden Öfen. Der Tiegel behält hier die ihm von Anfang an gegebene Stellung im unteren Teile des Ofens bei, ohne abwärts zu rücken, und wird nach Beendigung der Erhitzung herausgenommen. Obwohl man diese Öfen in der Regel Tiegelschachtöfen nennt, gehören sie doch ihrer Wirkungsweise gemäfs den Feuern an und sind auch aus diesen hervorgegangen.

hitzenden Körper herum wurde der Brennstoff aufgehäuft, und um die Wirkung der Flamme besser zur Geltung zu bringen, wurde das Ganze durch ein Kuppelgewölbe überspannt, in welchem Austrittsöffnungen für die Gase in solcher Anordnung angebracht waren, dafs die Flamme den inneren Raum möglichst gleichmäfsig ausfüllte. Später verlegte man die Feuerung an die eine Seite des Ofens, liefs aber die Gase nach wie vor durch Öffnungen der Decke entweichen. Ein solcher Flammofen aus dem Jahre 1647, zum Schmelzen der Bronze in einer französischen Geschützgiefserei bestimmt, ist in Abb. 31 dargestellt[1]). *AA* ist der eigentliche Ofen; bei *D* liegt die Feuerung, aus einem vertieft angeordneten Roste bestehend, welcher von obenher durch einen mit Deckel versehenen Füllschacht bedient wird. An den beiden Längsseiten des Ofens sind die Einsetzöffnungen für das Metall angebracht, durch Türen verschlossen, welche durch Hebel mit Ketten emporgezogen werden; *CC* sind die erwähnten Austrittsöffnungen für die Gase. Die Stichöffnung befindet sich an der der Feuerung gegenüberliegenden Seite; ein Arbeiter hat sie soeben mit einer langen Stange geöffnet, und man gewahrt in der Abbildung das ausströmende Metall.

Die Zugwirkung mufste in einem solchen Ofen ziemlich beschränkt bleiben; die Luft trat in ungenügender Menge zu, die Verbrennung blieb unvollständig (wie auch durch den massenhaft sich entwickelnden Rauch in der Abbildung angedeutet ist), und es war schwierig, einigermafsen hohe Temperaturen zu erzielen. Die wohltätige Wirkung einer über den Ofen hoch hinausragenden Esse an dem der Feuerung gegenüberliegenden Ende des Ofens für die Erzeugung eines kräftigen Luftzuges und einer hohen Temperatur erkannte man erst in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts, und erst seit jener Zeit wurden die Flammöfen auch für den Eisenhüttenbetrieb benutzbar.

Ein Flammofen der Jetztzeit besteht demnach aus einem nach einer wagerechten, geneigten oder gebrochenen Linie verlaufenden Kanale, an der Feuerung beginnend und in der Esse endigend. Eine Erweiterung des Kanals an geeigneter Stelle dient zur Aufnahme der zu erhitzenden Körper und heifst der Herd.

Statt der Esse läfst sich zur Erzielung eines lebhaften Luftwechsels auch ein Gebläse benutzen, welches geprefste Luft der Feuerung von aufsen zuführt und die Verbrennungsgase durch den Ofen hindurchtreibt.

Jene Bewegung der zu erhitzenden Körper dem Gasstrome entgegen, welche im Schachtofen so günstig auf dessen Leistung wirkt, ist bei den Flammöfen nur in beschränktem Mafse zu erreichen. In der Regel befinden sich die Körper von Anfang an in dem heifsesten Teile des Ofens, den die Gase im noch hocherhitzten Zustande verlassen, ohne wieder mit ihnen in Berührung zu treten; die Gase nehmen demgemäfs einen grofsen Teil der entwickelten Wärme mit fort, und diese austretende Wärme läfst sich für den eigentlichen Zweck des Flammofens nur dann teil-

[1]) Mémoires d'Artillerie 1647, daraus in The popular science monthly, Bd. 38, Seite 154.

weise wieder nutzbar machen, wenn man sie bei Gasfeuerungen zur Erhitzung der zuströmenden Verbrennungsluft oder des Gases benutzt und solcherart wieder in den Ofen zurückführt. Einen teil-

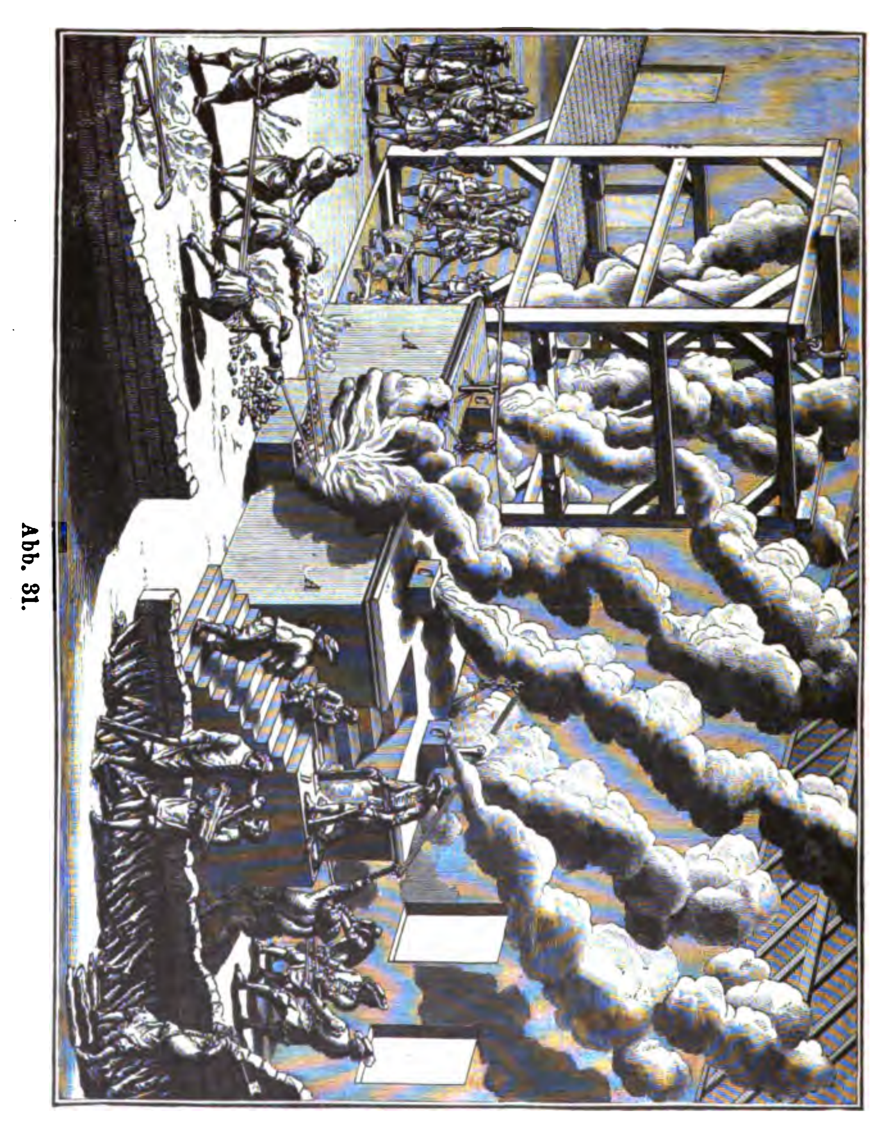


Abb. 31.

weisen Ausgleich findet jedoch dieser unleugbare Nachteil durch den Umstand, daſs jene Abhitze des Ofens sich in zahlreichen Fällen für Nebenzwecke, z. B. Heizung von Dampfkesseln, verwenden läſst.

Neben die älteren Flammöfen mit Rostfeuerung sind im neunzehnten Jahrhunderte die Flammöfen mit Gasfeuerung getreten.

Beide Gruppen zeigen in ihrer Einrichtung Unterschiede, welche eine getrennte Besprechung erforderlich machen.

Flammöfen mit Rostfeuerung.

Der Rost liegt unmittelbar hinter dem Herde, auf welchem die gröfste Wärmeentwicklung stattfinden soll. Die Abbildungen 32 und 33 zeigen in Umrifslinien die innere Form eines solchen Flammofens. *a* ist der Rost, welcher gemäfs der Beschaffenheit des Brennstoffs Planrost oder Treppenrost sein kann, a_1 die Einschüttöffnung für den Brennstoff (die Schüröffnung), *c* ist der Herd, dem man für Verfahren, bei denen eine Schmelzung nicht eintritt (Schweifsöfen, Glühöfen), die Form einer wagerechten oder geneigten

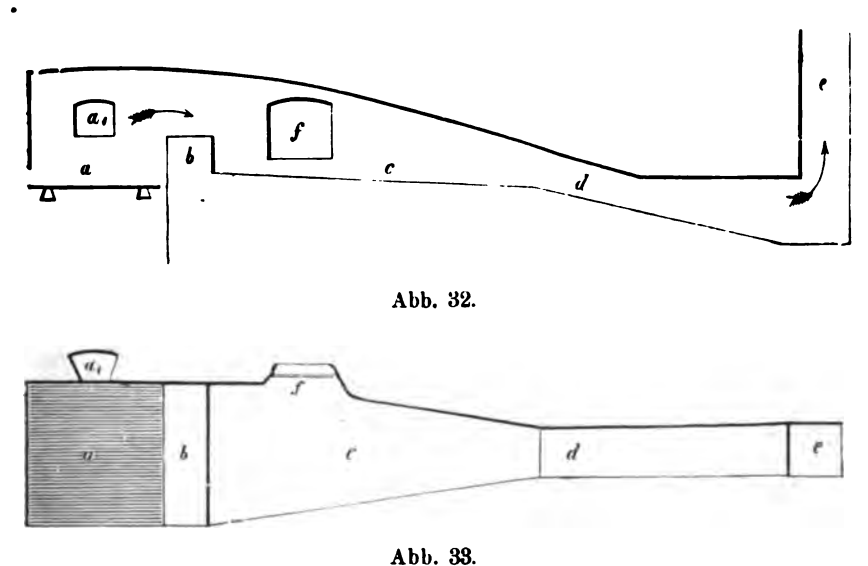


Abb. 32.

Abb. 33.

Ebene, bei Schmelzverfahren die Form einer Mulde gibt. Zwischen Rostfläche und Herdfläche mufs ein gewisses Verhältnis bestehen, abhängig von der Beschaffenheit des Brennstoffes und der auf dem Herde hervorzurufenden Temperatur. Bei den im Eisenhüttenbetriebe zur Anwendung kommenden Flammöfen schwankt jenes Verhältnis zwischen 1 : 4 bis 1 : 2. Die Länge des Herdes mufs sich nach der Länge der Flamme richten, darf aber auch bei langflammigen Brennstoffen, sofern eine gleichmäfsig hohe Temperatur erreicht werden soll, nicht über 4 m betragen, während in Fällen, wo dieser Bedingung nicht genügt zu werden braucht, Herdlängen bis 10 m zur Anwendung kommen.

Die Grenze zwischen Feuerungsraum und Herd wird durch die Feuerbrücke *b* gebildet. Ihre Länge (in der Breitenrichtung des Ofens gemessen) ist gleich der Breite des Rostes und der gröfsten Breite des Herdes. In Rücksicht auf die erforderliche Bedienung des Rostes beträgt diese Abmessung selten über 1,5 m; machen besondere Umstände eine gröfsere Breite des Rostes erforderlich,

so bringt man zwei Schüröffnungen einander gegenüber an. Unzweckmäßsig würde es sein, dem Herde eine gröfsere Breite durch Ausbauchung zu geben, wenn nicht besondere Gründe eine solche Form notwendig machen.

Je höher die Oberkante der Feuerbrücke über dem Roste liegt, desto höher kann die Brennstoffschüttung auf dem Roste sein, desto geringer ist die Menge des mit den Gasen vom Roste aufsteigenden freien Sauerstoffes, desto weniger oxydierend die Flamme, aber desto geringer auch ihre Wärmeentwicklung und die erzeugte Temperatur. Wo also Oxydation der auf dem Herde befindlichen Körper nach Möglichkeit vermieden werden soll und eine hohe Temperatur nicht erforderlich ist (z. B. bei Glühöfen für Bleche), bemifst man jenen Abstand reichlich (bis 1 m); will man hohe Temperaturen mit oxydierender Flamme hervorrufen, so beschränkt man ihn bisweilen auf 0,3 m oder wenig darüber.

Für die auf dem Herde befindlichen Körper bildet die Feuerbrücke einen Schutz gegen das Herunterfallen auf den Rost und gegen die unmittelbare Einwirkung der Flamme. Je höher die Feuerbrücke über die Herdoberfläche emporragt, desto mehr sind die dahinter liegenden Körper vor den chemischen Einwirkungen der Flamme geschützt, aber desto mehr sind sie auch der Wärmeabgabe entzogen, desto schwieriger ist ihre Erhitzung. Deshalb findet man auch hinsichtlich dieser Abmessung Schwankungen von 10—50 cm, je nachdem eine starke Erhitzung oder eine möglichste Vermeidung der Oxydation der Hauptzweck ist.

Der freie Ofenquerschnitt oberhalb der Feuerbrücke, durch welchen die verbrennenden Gase auf den Herd gelangen, heifst das Flammenloch. Seine Gröfse ergibt sich aus der Breite des Ofens an dieser Stelle (Länge der Feuerbrücke) und der Höhe der Ofendecke über der Oberkante der Feuerbrücke. Letztere Abmessung mufs sich zum grofsen Teile nach dem Zwecke des Ofens richten, insbesondere auch nach der Gröfse der auf den Herd zu bringenden Stücke. Eine allzu reichlich bemessene Höhe würde die Erhitzung des Herdes und der darauf befindlichen Gegenstände erschweren. Bei den meisten Öfen beträgt die Gröfse des Flammenloches 0,4—0,7 der Gröfse der gesamten Rostfläche.

Je weiter sich die Flamme von ihrer Wurzel, dem Roste, entfernt, desto mehr häufen sich in ihr die Verbrennungsgase an, die Verbrennung der noch übriggebliebenen unverbrannten Gase durch Verdünnung erschwerend, und desto mehr Wärme wird allmählich der Flamme durch die Ofenwände wie durch die auf dem Herde befindlichen Körper entzogen. Wollte man den Querschnitt eines Flammofens von der Feuerbrücke an bis zum Ende des Herdes gleich grofs bemessen, so würde die Temperatur der Flamme nach dem Ausgange zu mehr und mehr sinken und eine unvollständige Verbrennung eintreten. Damit diese Übelstände vermieden werden, mufs der Querschnitt des Ofens oberhalb des Herdes von der Feuerbrücke an stetig abnehmen; die Gase erhalten dadurch eine zunehmend beschleunigte Bewegung, ihre Abkühlung wird verringert. Am vollkommensten erreicht man diesen Zweck, wenn man die Decke des Ofens mehr und mehr der Herdsohle sich

nähern läfst und zugleich, wie in der Abbildung, dem Grundrisse des Herdes Trapezform gibt. Allerdings ist diese Form in Rücksicht auf den Zweck des Ofens nicht immer anwendbar; häufiger ist man gezwungen, eine rechteckige oder unregelmäfsige Grundform zu wählen. Um so wichtiger ist es alsdann, dafs man durch starke Näherung der Decke gegen den Boden jener Bedingung Rechnung trage.

Die Ofendecke besteht aus einem Gewölbe, welches gewöhnlich von einer Längsseite zur anderen hinübergeht. Von dem Gewölbe wird ein Teil der von der Flamme ausgesandten Wärme auf den Herd zurückgestrahlt, und in Rücksicht auf diesen Vorgang, dem man in früherer Zeit eine übertriebene Bedeutung beilegte, nannte man diese Öfen häufig „Reverberieröfen" (Rückstrahlungsöfen). Je stärker gewölbt die Decke ist, desto mehr drängt sich die Wirkung jener Strahlung auf die Mitte des Ofens zusammen, desto ungleichmäfsiger mufs die Erwärmung des Herdes ausfallen.

An einer dem Zwecke des Ofens entsprechenden Stelle befindet sich die Einsetzöffnung *f*, welche durch eine, gewöhnlich zum Aufziehen eingerichtete eiserne Tür mit feuerfestem Futter an der Innenseite geschlossen gehalten wird.

An dem Ende des Herdes erreicht nun jene notwendige Abnahme des Ofenquerschnitts ihr höchstes Mafs; die Gase treten hier in einen stark verengten Kanal *d* ein, welcher sie aus dem Ofen entführt und der Fuchs genannt wird. Für die Aufrechterhaltung einer hohen und gleichmäfsigen Temperatur im Ofen ist ein geringer Querschnitt des Fuchses erspriefslich; man rechnet dafür $^1/_{10}$—$^1/_6$ der gesamten Rostfläche. Je enger aber der Fuchs ist, desto gröfser sind die Widerstände, welche die Gase hier finden, desto gröfser mufs also auch die Zugwirkung der Esse sein, welche schliefslich die Gase aufnimmt. Ist der Abzugskanal lang, so empfiehlt es sich deshalb, jene Verengung auf eine kürzere Abmessung am Ausgange des Herdes zu beschränken und von hier aus wieder eine Erweiterung eintreten zu lassen.

Um die Wirkung des Fuchses zu verstehen, braucht man sich nur die Wirkung des Zylinders einer Petroleumlampe zu vergegenwärtigen, in welchem sich oberhalb des Dochtes eine Querschnittsverengung befindet. Die Gase und die beigemischte Luft werden gezwungen, in stark zusammenlaufender Richtung und mit zunehmender Geschwindigkeit dorthin zu eilen und sich dabei innig zu mischen; die Wände des Fuchses sind bei dem raschen Hindurchströmen der Gase hoch erhitzt und wirken dadurch auch erhitzend auf die rückwärts gelegenen Teile des Ofens; alle diese Umstände vereinigen sich, die schliefsliche vollständige Verbrennung der im Gasstrome noch vorhandenen unverbrannten Teilchen zu bewirken. Bei einem zu weiten Fuchse entsteht ebenso wie bei einem zu weiten Lampenzylinder eine rauchende Flamme.

Die Lage des Fuchses ist nicht immer die nämliche wie bei dem gezeichneten Ofen. Mitunter, wenn man die Berührung des zu erhitzenden Körpers durch die vorüberziehenden Gase beschränken will, legt man ihn in die Decke des Ofens, so dafs die Gase nach oben abziehen; in anderen Fällen führt man ihn senk-

recht vom Herde aus nach unten und läfst die Gase wohl unter dem Herde zurückströmen, um diesen auch von unten zu erwärmen. Will man dagegen die abziehenden Gase noch zur Dampfkesselheizung benutzen, so legt man den Dampfkessel zwischen Fuchs und Esse. Statt jedem Ofen eine eigene Esse zu geben, pflegt man in solchen Fällen eine gemeinschaftliche Hauptesse für eine gröfsere Zahl von Öfen und Kesseln anzulegen, welcher die Gase durch unterirdische Kanäle zugeführt werden. Ebenso kann man zwei oder noch mehr Öfen neben einem gemeinschaftlichen Dampfkessel anordnen, indem man ihre Gase sich vereinigen läfst. Während für die Esse eines einzelnen Ofens ohne eingebauten Dampfkessel gewöhnlich eine Höhe von 15—20 m ausreicht, gibt man solchen Hauptessen Höhen von 40—50 m und bemifst ihren Querschnitt derartig, dafs die Gase innerhalb der Esse sich mit mindestens 2 m Geschwindigkeit in der Sekunde fortbewegen, diese Geschwindigkeit aber auch dann nicht unterschritten wird, wenn einige der Öfen kalt liegen sollten [1]). Damit die von verschiedener Seite eintretenden Gasströme sich nicht gegenseitig stauen, stellt man in den unteren Teil der Esse eine oder mehrere Scheidewände von einigen Metern Höhe, welche die einzelnen Ströme zwingen, zunächst übereinstimmend senkrechte Richtung anzunehmen, bevor sie sich vereinigen können.

Eine Zurückführung der abziehenden Wärme durch Vorwärmung der Verbrennungsluft findet bei diesen Flammöfen nicht statt; sie würde aus den auf Seite 107 erläuterten Gründen zwecklos sein.

Nicht selten betreibt man diese Öfen mit Unterwind, d. h. man leitet zur Verstärkung der Essenwirkung Gebläsewind unter den mit geschlossenem Aschenfall betriebenen Rost. Entbehrlich wird freilich die Esse hierdurch nicht, da die Gase in einem Ofen ohne Esse vor dem Eintreten in den Fuchs sich stauen und zum Teile aus den Ofentüren herausschlagen würden; aber man wird bei der Benutzung von Unterwind, wie bei den mit Gebläse versehenen Gaserzeugern (Seite 117), unabhängiger von den Zufälligkeiten, welche bei alleiniger Benutzung des Essenzuges die Menge der zutretenden Luft bedingen, insbesondere auch von dem Einflusse der wechselnden Schütthöhe des Brennstoffs auf dem Roste, und dieser Vorteil zeigt sich um so deutlicher, je kleinstückiger der zur Verwendung stehende Brennstoff ist. Da also die Menge der zutretenden Luft geringeren Schwankungen unterliegt, ist auch der zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung erforderliche Luftüberschufs durchschnittlich geringer als in dem anderen Falle.

---

[1]) Die Geschwindigkeit der Gase ergibt sich bei gegebenem Durchgangsquerschnitte aus der Menge des in der Zeiteinheit verbrannten Brennstoffs und ihrer Temperatur. Unter Berücksichtigung des für die vollständige Verbrennung unvermeidlichen Luftüberschusses liefert 1 kg Steinkohle etwa 17 cbm, 1 kg Braunkohle etwa 15 cbm Verbrennungserzeugnisse von 0° Temperatur. Die Gase treten in den meisten Fällen mit einer Temperatur von 250—300° C. in die Esse ein, wobei ihr Rauminhalt sich gemäfs der bekannten Formel $V_1 = V (1 + 0{,}00366\, t)$ vergröfsert.

Die Folge davon ist, dafs die Verbrennungstemperatur steigt, die Wärmeabgabe sich günstiger gestaltet und die geringere Menge der abziehenden Gase weniger Wärme aus dem Ofen entführt [1]). Man ist demnach durch Anwendung von Unterwind bei den Flammöfen mit Rostfeuerung nicht selten imstande, Brennstoff zu sparen. Je aschenreicher aber der Brennstoff ist, desto häufiger mufs der Rost gereinigt werden; diese Reinigung ist bei den Öfen mit Unterwind umständlicher als bei denen mit Essenzug, weil bei ersteren der geschlossene Aschenfall geöffnet werden mufs und hierbei eine Unterbrechung der Windzuführung eintritt. Daher findet man die Anwendung von Unterwind besonders in solchen Gegenden, wo aschenarme Brennstoffe zur Verfügung stehen [2]).

Die Spannung des unter den Rost tretenden Windes darf nur gering sein, geringer als bei den Luftgaserzeugern mit Unterwind, bei denen eine höhere Brennstoffschüttung zu durchdringen ist. Man findet unter verschiedenen Verhältnissen Windspannungen von 10—50 mm Wassersäule, abweichend nach der Stückgröfse des Brennstoffs, den Widerständen, welche die Verbrennungsgase bei ihrer Fortbewegung finden, und der Saugwirkung der Esse. Ein einfaches Gebläse genügt jedenfalls zur Lieferung der erforderlichen Windmenge von entsprechender Spannung. Wo nur einzelne Flammöfen mit Unterwind betrieben werden sollen, bedient man sich mitunter eines Dampfstrahlgebläses, welches neben dem Aschenfalle aufgestellt ist; für eine gröfsere Zahl von Öfen ist ein gemeinschaftliches Flügelrad- oder Kapselgebläse zweckmäfsiger.

Flammöfen mit Gasfeuerung.

Allgemeines. Ältere Gasflammöfen.

Unter den verschiedenen Arten der Brenngase kommt für die Heizung der Flammöfen des Eisenhüttenbetriebes vorzugsweise das Luftgas zur Anwendung; seit dem Jahre 1840, in welchem man, angeregt durch die von Faber du Faur erlangten günstigen Erfolge bei Benutzung von Hochofengichtgasen (Seite 106) dazu überging, Luftgas darzustellen, ist die Zahl der mit diesem Gase geheizten Flammöfen von Jahr zu Jahr gewachsen. Die Vorteile, welche bei Benutzung des Luftgases an Stelle der rohen Brennstoffe sich erreichen lassen, wurden schon auf Seite 107 ausführlicher besprochen.

Naturgas besitzt nur in Nordamerika Bedeutung als Brennstoff des Eisenhüttenbetriebes; auch das durch Verdampfung flüssiger Brennstoffe erzeugte Gas (Seite 105) kann nur in einzelnen, früher genannten Bezirken Verwendung finden. Hochofengichtgas wird nur für ganz bestimmte Zwecke (Dampfkesselfeuerungen, Erhitzung des Gebläsewindes der Hochöfen, vereinzelt auch zum Rösten der Eisenerze) verwendet; Wassergas aber ist aus den früher besprochenen

---

[1]) Beobachtungen im Betriebe über Anwendung von Unterwind: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 169.

[2]) Eine Einrichtung des Rostes, welche seine Reinigung ohne jedesmaliges Öffnen des Aschenfalls ermöglicht und sich gut bewährt haben soll, ist in „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 229 beschrieben und abgebildet.

Ursachen zu kostspielig, um als Heizstoff für Flammöfen in gröfserem Umfange Benutzung erlangen zu können.

Das in folgendem über die Einrichtung der Flammöfen mit Gasfeuerung Gesagte bezieht sich deshalb vornehmlich auf die Benutzung des Luftgases. Im übrigen sind die erforderlichen Änderungen der Einrichtung nicht erheblich, wenn eine andere Gasart zur Verwendung gelangt.

Ziemlich mannigfache Wandlungen hat die Einrichtung dieser Flammöfen in den fünfundsechzig Jahren erfahren, welche seit ihrer Einführung verflossen sind.

Die früher besprochene Tatsache, dafs Gase leichter und mit geringerem Luftüberschusse als feste Brennstoffe verbrennlich sind, und dafs man durch Erwärmung der Verbrennungsluft bei der Verbrennung von Gasen eine höhere Verbrennungstemperatur erzielen kann, gab zunächst häufige Veranlassung, Gasfeuerung da anzuwenden, wo geringwertigere, bei der Verbrennung auf dem Roste

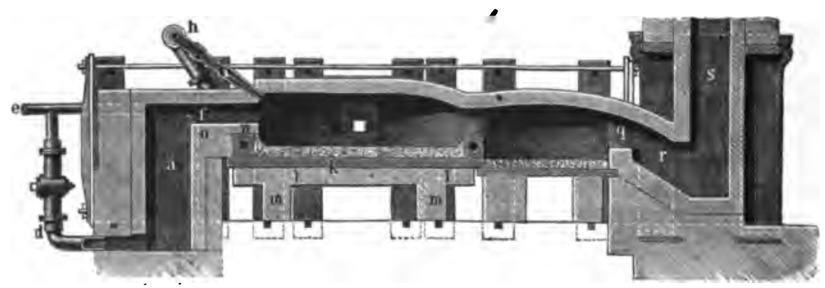


Abb. 34.

zur Erzeugung hoher Temperaturen nicht geeignete Brennstoffe — Holz, Torf, Braunkohlen — zur Verwendung standen. Diese älteren Gasflammöfen, welche in den österreichischen Alpenländern, am Harze, in Schweden u. a. a. O. eine ziemliche Ausbreitung fanden, wurden gröfstenteils mit Hilfe eines Gebläses, d. h. mit Unter- und Oberwind, betrieben; wenn Holz oder Torf als Brennstoff diente, verminderte man durch vorausgehendes Darren den reichlichen Feuchtigkeitsgehalt (Seite 66, 69). Zur Erhitzung des Oberwindes (der Verbrennungsluft) dienten eiserne Röhren, durch welche der Wind hindurchströmte, und welche häufig so angeordnet waren, dafs sie zugleich eine Kühlvorrichtung für stark erhitzte Teile des Ofenmauerwerkes bildeten. In Abb. 34 ist ein solcher, um das Jahr 1855 in Zorge am Harze erbauter, mit Holzgas geheizter Flammofen (Puddelofen) dargestellt[1]. *a* ist der unmittelbar an den Ofen angebaute Gaserzeuger von vierseitig-prismatischer Form, in welchen Unterwind durch das Rohr *d* zugeführt wird; der Verbrennungswind zieht durch das Rohr *n* rings um den Ofenherd herum, diesen kühlend und sich dabei auf etwa 200° C. erhitzend, um dann von *h* aus durch einen die ganze Breite des Ofens einnehmenden Schlitz auf das vom Gaserzeuger kommende Gas zu treffen.

---

1 Berg- und hüttenmännische Zeitung 1860, Seite 155.

Vereinzelt werden Öfen dieser oder ähnlicher Anordnung noch hier oder da gefunden, obgleich die meisten von ihnen seit Beginn der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts allmählich verschwanden. Das Darren wasserreicher Brennstoffe erfordert umfängliche Anlagen und nicht unbeträchtliche Ausgaben für Löhne; durch die Ausdehnung der Verkehrsmittel hat man vielfach die Gelegenheit erlangt, wertvollere Brennstoffe — Stein- und Braunkohlen — zu ausreichend niedrigen Preisen auch in solchen Gegenden zu beziehen, welche weit von ihrer Gewinnungsstätte entlegen waren, und man hatte erkannt, dafs selbst bei Benutzung von Steinkohlen als Heizstoff die vorausgehende Vergasung häufig zweckmäfsiger sei als ihre Verbrennung auf dem Roste. Die Anwendung von Gebläsewind zur Verbrennung des Gases aber erwies sich als entbehrlich, sofern eine Esse mit genügender Zugwirkung vorhanden war[1]), und statt der eisernen, einer raschen Abnutzung unterworfenen Röhren zur Erhitzung der Verbrennungsluft benutzte man den Ofen selbst, indem man die Luft durch Kanäle in dessen Mauerwerk hindurchführte.

Nach diesen allgemeinen Grundsätzen sind sämtliche neueren Gasfeuerungen eingerichtet, wie aus den nachfolgenden Beispielen sich ergeben wird.

Die Siemensfeuerungen.

Allgemeine Anordnung. Die wesentliche Eigentümlichkeit dieser von den Gebrüdern Wilhelm Siemens in London und Friedrich Siemens in Dresden gegen das Jahr 1860 eingeführten und bald zu hoher Bedeutung gelangten Feuerungen beruht auf der Anordnung von zwei Paar Wärmespeichern (früher Regeneratoren genannt), d. i. Kammern, aus feuerfesten Steinen gebaut und mit feuerfesten Steinen in solcher Weise ausgesetzt, dafs eine grofse, den Gasen dargebotene Oberfläche entsteht, der Durchzug der Gase aber nicht gehemmt wird[2]). An jedem Ende des Ofens ist ein Paar dieser Wärmespeicher angeordnet. Durch das eine Paar strömen die abziehenden noch heifsen Gase des Ofens hindurch, sie erwärmend, d. h. Wärme in ihnen aufspeichernd; nach Verlauf einer bestimmten Zeit, wenn die Temperatur in den Kammern entsprechend gestiegen ist, wird umgesteuert, d. h. der Gasstrom erhält entgegengesetzte Richtung als zuvor. Das vom Gaserzeuger kommende Gas strömt durch den einen, die Verbrennungsluft durch den zweiten der zuvor erhitzten Wärmespeicher

[1]) Offen bleibt jedoch die Frage, ob nicht die Benutzung eines Gebläses auch für die Zuführung der Verbrennungsluft (des Oberwindes) zweckmäfsiger sei, als die alleinige Benutzung des Essenzuges für diesen Zweck. Man wird durch Anwendung von Gebläsewind unabhängig von den Zufälligkeiten, welche die Stärke des Essenzuges beinflussen; die Esse braucht weniger hoch zu sein, und die Gase können im stärker abgekühlten Zustande der Esse zugeführt werden. Vergleichende Versuche hierüber scheinen zu fehlen.

[2]) Der den Siemensöfen zugrunde liegende Gedanke war schon seit Anfang des vorigen Jahrhunderts mehrfach ausgesprochen worden, ohne Verwertung zu finden. Nähres hierüber: Polytechn. Zentralblatt 1872, Seite 1441; Berg- und hüttenm. Zeitung. 1873, Seite 27; Zeitschr. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1886, Heft 1.

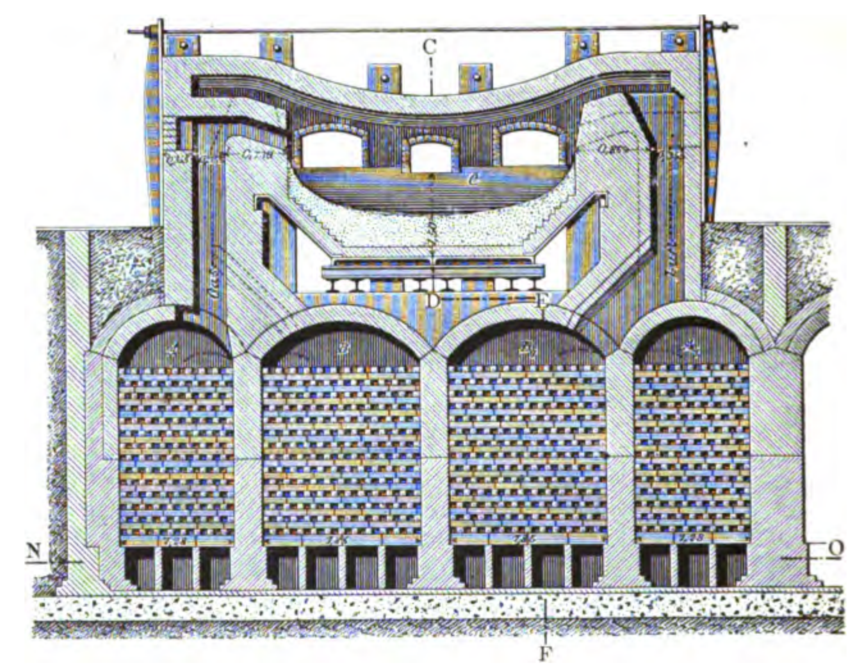


Abb. 35.

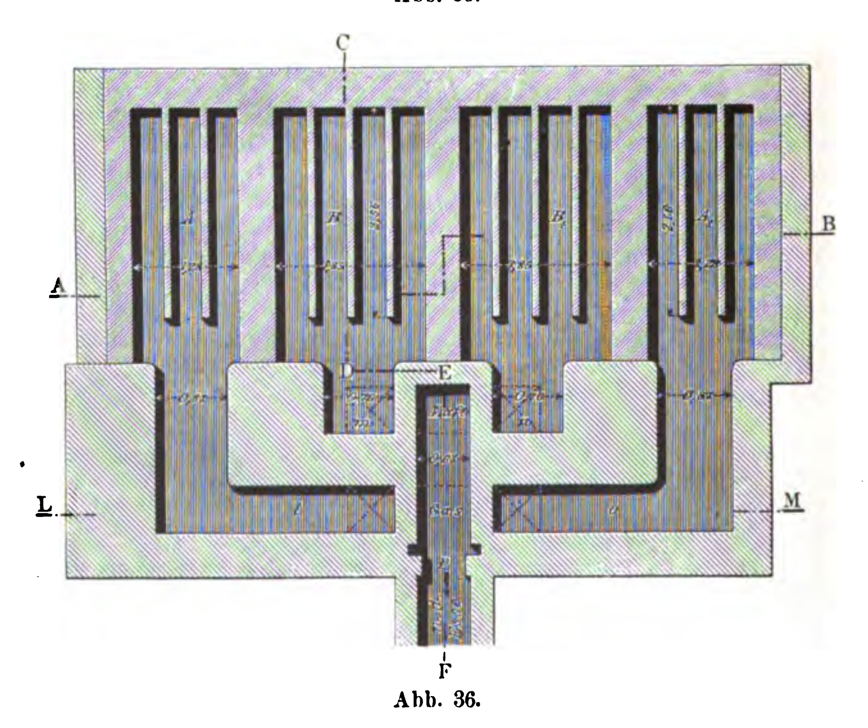


Abb. 36.

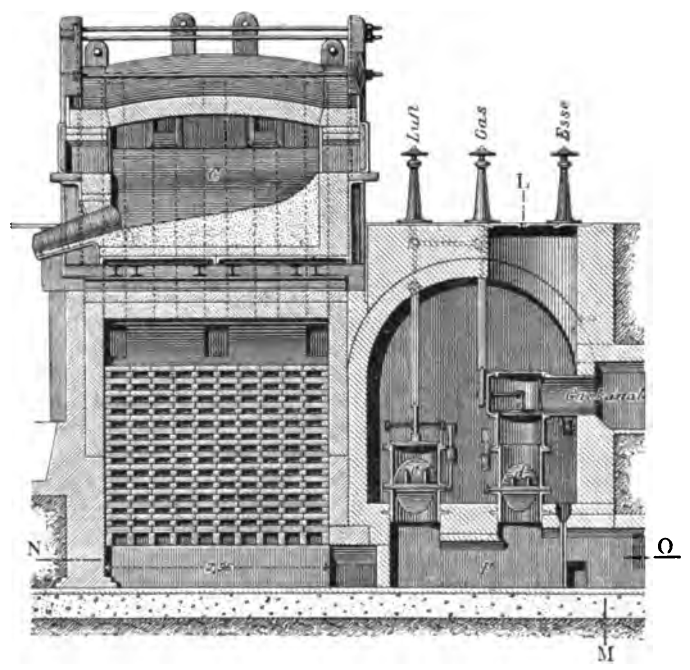


Abb. 37.

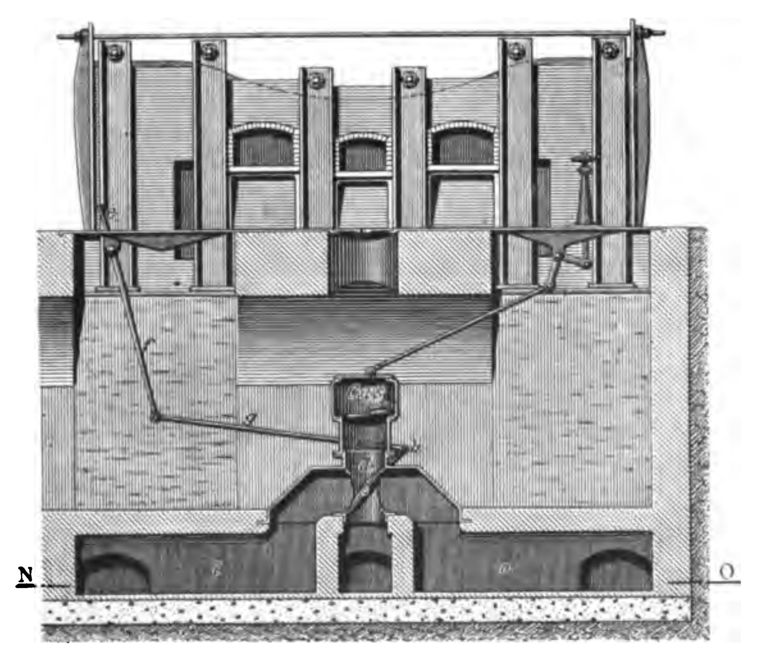


Abb. 38.

nach dem Ofen, hierbei Wärme aufnehmend; im erhitzten Zustande treffen Gas und Luft zusammen, und sie vereinigen sich unter Entwicklung einer hohen Temperatur. Die aus dem Ofen abziehenden Gase aber heizen nunmehr die gegenüberliegenden Kammern, bis aufs neue umgesteuert wird.

In den Abbildungen 35—38 eines Siemensofens[1]) sind AA_1, BB_1 die Wärmespeicher, und zwar dienen die schmaleren AA_1 zum Erhitzen des Gases, die breiteren BB_1 zum Erhitzen der Luft. Zwei Umsteuerungsvorrichtungen, bei dem abgebildeten Ofen Klappen, *cd* (Abb. 37) dienen dazu, der Luft und dem Gase, deren Zulafs durch Anheben der über den Klappen angebrachten Ventile ermöglicht wird, die wechselnde Richtung zu geben; *c* ist die Luftklappe, *d* die Gasklappe. Beide Klappen stehen parallel und werden gleichzeitig durch Bewegung des Hebels *e* (Abb. 38) umgeschaltet. Zu diesem Zwecke ist *e* auf dem Ende einer wagerechten Welle befestigt, von welcher aus je ein Hebel *f* nebst Zugstange *g* die Bewegung auf den Hebel *h* überträgt, der auf der verlängerten Drehungsachse jeder Klappe befestigt und zur gröfseren Sicherung der Bewegung mit einem Gewichte versehen ist (in Abb. 37 sind die Gewichte der beiden Klappenhebel erkennbar). In derjenigen Stellung der Klappen, welche in Abb. 38 veranschaulicht ist, strömt das von oben kommende Gas nach links durch den Kanal *l* in den Wärmespeicher A, die Luft durch den Kanal *m* (Abb. 36) in den Wärmespeicher B. Oberhalb des Herdes C des Ofens findet die Vereinigung von Gas und Luft statt; die Verbrennungsgase ziehen durch A_1 und B_1 abwärts, treten durch die Kanäle *n* und *o* unter die Klappen und vereinigen sich in dem gemeinschaftlichen Essenkanale *p*. Soll gewechselt werden, so dreht man die Klappen vermittelst der erwähnten Hebel um 90°; Gas und Luft sind nun gezwungen, nach rechts durch die Kanäle *o* und *n* in die Wärmespeicher A_1 und B_1 zu ziehen, während die Verbrennungsgase von links her zurückkehren und, wie vorhin, durch den Kanal *p* entweichen.

Da in jedem Falle Umsteuerung stattfinden mufs, lange bevor die in den Wärmespeichern abgegebene Wärme verbraucht ist, läfst sich im Anfange des Betriebes eines Siemensofens zunächst bei jedem Wechsel auch eine Temperatursteigerung erzielen. Anfänglich treffen Gas und Luft im kalten Zustande aufeinander. Die Verbrennung ist unvollkommen, die Verbrennungstemperatur niedrig. Die abziehenden Gase geben einen Teil ihrer Wärme an die Wärmespeicher ab, vermögen aber selbstverständlich nicht, diese auf eine höhere Temperatur zu erwärmen, als sie selbst besitzen. Nun wird umgesteuert. Gas und Luft werden vorgewärmt, wenn auch vorläufig noch nicht sehr bedeutend. Immerhin steigt die Verbrennungstemperatur; durch die heifseren Gase werden auch die gegenüberliegenden Wärmespeicher stärker als die ersten beiden erhitzt.

[1]) Die Abbildungen stellen einen in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts erbauten Ofen dar. Die Anordnung der Siemensöfen im ganzen ist noch heute dieselbe geblieben, wenn auch die Anordnung der einzelnen Teile einige, unten zu besprechende Änderungen erfahren hat.

Nach abermaligem Wechsel mufs demnach die Temperatur wiederum zunehmen u.s.f., bis die eintretende und mit der Temperatur zunehmende Dissoziation (Seite 39) der ferneren Temperatursteigerung hemmend entgegentritt und ihr schliefslich ein Ziel setzt. Solcherart ermöglichen es die Siemensfeuerungen, bei entsprechender Regelung des Gas- und Luftzutritts die höchsten unter gewöhnlichen Verhältnissen überhaupt erreichbaren Temperaturen hervorzubringen, sofern der Brennstoffaufwand dem stattfindenden Wärmeverbrauche entspricht. Es folgt aber auch aus jener Schilderung der Wirkungsweise eines Siemensofens, dafs dieser erst nach längerem Heizen seine Vorzüge zur Geltung zu bringen vermag und keineswegs in solchen Fällen am Platze sein würde, wo nur ein auf kurze Zeitdauer beschränkter Betrieb stattfindet (z. B. in Eisengiefsereien, deren Schmelzöfen nur auf wenige Stunden in Betrieb gesetzt und dann wieder kaltgelegt werden).

Durch den Augenschein läfst sich die Zunahme der Temperatur nach dem Anheizen verfolgen. Zuerst ist die Flamme lang und dunkelrot; nach dem ersten Umsteuern wird sie kürzer und heller, endlich blendendweifs. Wird aber die Dissoziationstemperatur erreicht, so verlängert sich die Flamme wieder und fliefst, wie W. Siemens sich ausdrückt[1]), wolkenartig dahin, erst in den Wärmespeichern ihre Ende findend. Durch Verminderung des Gas- und Luftzuflusses, also des Verhältnisses zwischen Wärmentwicklung und Wärmeverbrauch, kann man der Entstehung jener allzu heifsen Flamme entgegenwirken.

Damit der Ofen den erforderlichen Zug besitze, dürfen die Gase nicht allzu abgekühlt in die Esse eintreten. Als geringste erforderliche Temperatur der Gase beim Eintritt in die Esse nimmt man 150° C. an; meistens sind sie jedoch erheblich wärmer[2]).

Anordnung und Gröfse der Wärmespeicher. Je gröfser die in den Wärmespeichern bei bestimmter Temperatur angesammelte Wärmemenge ist, desto langsamer sinkt die Temperatur beim Hindurchziehen des kalten Gases oder der Luft, desto weniger frühzeitig braucht aufs neue gewechselt zu werden. Jene Wärmemenge aber ist von der spezifischen Wärme der Steine, aus welchen die Kammern gebaut sind, der Gröfse der Kammern und der dargebotenen Oberfläche abhängig. Die spezifische Wärme ist bei allen Wärmespeichern, da man sie aus feuerfesten Ziegeln herstellt, annähernd gleich (0,25—0,22) und kann daher bei den folgenden Erwägungen aufser Betracht bleiben.

Vorzugsweise ist es die den Gasen und der Luft dargebotene Oberfläche, von welcher die Leistung des Wärmespeichers abhängt; je gröfser diese Oberfläche ist, desto gröfsere Wärmemengen werden den hindurchziehenden heifsen Gasen entzogen, und desto leichter erfolgt später die Erhitzung der zuströmenden kalten Gase. Man setzt daher die einzelnen Wärmespeicher in solcher Weise mit

---

[1]) Dr. W. Siemens, Einige wissenschaftlich-technische Fragen der Gegenwart, Berlin 1879, Seite 75.

[2]) v. Jüptner fand z. B. bei Martinöfen eine Temperatur der Essengase von 500° C. (Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1888, Seite 386).

feuerfesten Ziegeln aus, dafs diese eine grofse freie Oberfläche erhalten, ohne den Durchzug der Gase zu hemmen. Abb. 39 und 40 zeigen eine übliche Anordnung dieser Steine. *aaa* sind die Kanäle, durch welche Gas oder Luft zuströmen und später die Verbrennungsgase nach der Esse abziehen (vergl. auch den Grundrifs in Abb. 36). Quer darüber sind in Abständen von etwa 65 mm feuerfeste Ziegel gewöhnlicher Form hochkantig in Parallelreihen aufgestellt, zwischen denen hindurch die Gase ihren Weg nehmen können. In kreuzweisen Lagen und in Parallelreihen angeordnet ruhen nun auf dieser unteren Ziegellage die übrigen, die Füllung der Kammer bildenden Ziegel. Man kann zwar auch hierfür Ziegel von den gewöhnlichen Abmessungen verwenden; zur Erzielung einer gröfseren Oberfläche ist es jedoch üblicher, Ziegel, die besonders für diesen Zweck geformt wurden, mit geringerem Querschnitte (65—85 mm im Quadrat) zu benutzen. Um den Weg der

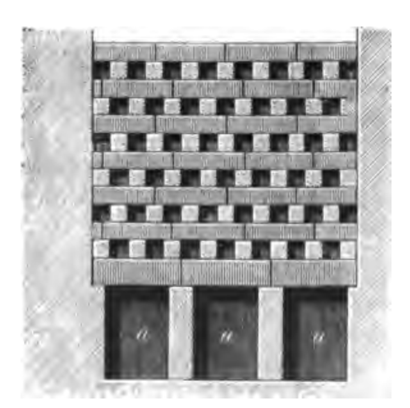


Abb. 39.

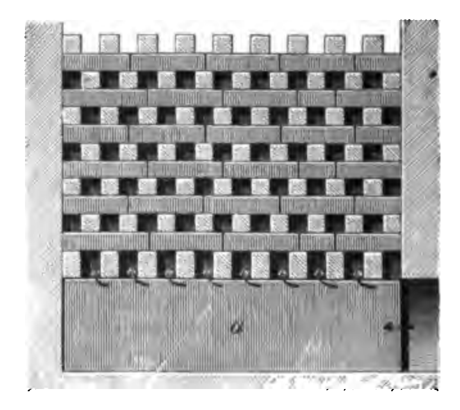


Abb. 40.

Gase zu verlängern und die Berührung mit den Ziegeln zu fördern, versetzt man wohl die übereinander befindlichen Parallelreihen der Ziegel in der Weise, wie die Abbildungen erkennen lassen.

Bei dem oben abgebildeten Ofen liegen die Wärmespeicher unter dem Ofen. Sie sind ganz oder doch zum grofsen Teile in das Erdreich eingebaut, und der Ofen wird von Längswänden mit darauf ruhenden eisernen Querbalken getragen, welche die eigentlichen Wärmespeicher einschliefsen. Diese Anordnung, welche die Wärmespeicher tunlichst vor Abkühlung schützt, dem Bestreben der sich erwärmenden Gase, emporzusteigen, am besten entspricht und dieser Vorteile halber am häufigsten in Anwendung ist, hat doch auch ihre Nachteile. Die Wärmespeicher sind nicht ganz leicht zugänglich, wodurch die von Zeit zu Zeit erforderlich werdenden Ausbesserungsarbeiten (Auswechslung der Ziegelfüllung u. a. m.) erschwert werden; die ganze Anlage erfordert die Herstellung einer wasserdichten Vertiefung im Erdboden, welche Arbeit um so mifslicher und kostspieliger sich gestaltet, je höher das Grundwasser steht, und die Belastung des Unterbaues durch das Gewicht des Ofens macht die Anwendung entsprechend grofser

Wandstärken erforderlich. Fehlerhaft würde es sein, etwa die Decke der Wärmespeicher zur Unterstützung des Ofens benutzen zu wollen; auch ihre Seitenwände macht man unabhängig von den zum Tragen des Ofens dienenden äufseren Wänden. Bei der Erhitzung wachsen die Wände der Wärmespeicher, und bei der Abkühlung verkleinern sie sich wieder. Wollte man den Ofen von ihnen tragen lassen, so würde er hierbei in Mitleidenschaft gezogen werden und bald Risse bekommen.

Um jene Nachteile zu umgehen, insbesondere die Erschwerung des Baues durch hochstehendes Grundwasser, hat man bisweilen den Wärmespeichern die Form wagerechter, vor dem Ofen unmittelbar unter der Erdoberfläche liegender Kanäle gegeben, wie durch die Abbildungen 41 und 42 veranschaulicht ist. Die Wärmespeicher sind in ähnlicher Weise wie die früher besprochenen mit

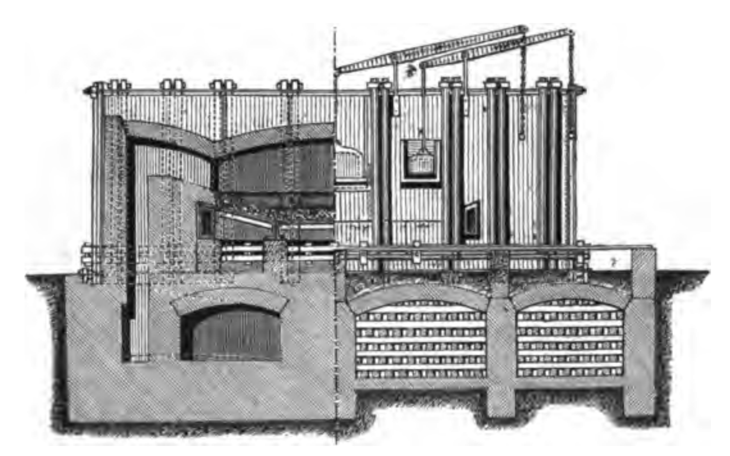


Abb. 41.

Ziegeln ausgesetzt. Gas und Luft gelangen durch seitlich von dem Ofen (Abb. 42) angeordnete Ventile nach den Wärmespeichern; Gas- und Luftkanäle ziehen parallel. Die aus dem Ofen kommenden verbrannten Gase treten, wenn sie die Wärmespeicher verlassen, durch einen gemeinschaftlichen, unterhalb beider Ventile hinziehenden Kanal (in Abb. 42 im Durchschnitte sichtbar) nach der Esse[1]).

Dem Vorteile der leichteren Zugänglichkeit der Wärmespeicher steht bei dieser Anordnung der Nachteil eines gröfseren Bedarfs an Platz gegenüber, wie besonders deutlich in Abb. 42 zu erkennen ist; der Raum seitlich vom Ofen, soweit die Kanäle sich erstrecken, geht für die sonstige Benutzung verloren. Aufserdem ist es wahrscheinlich, dafs die liegenden Wärmespeicher weniger günstig als die stehenden ausgenutzt werden, da die warmen Gase vorzugsweise an der Oberfläche hinstreichen und die untere Hälfte der

[1]) Ausführlichere Abbildungen eines solchen Ofens mit liegenden Wärmespeichern findet der Leser in Ledebur, Gasfeuerungen, Abb. 40—42.

Wärmespeicher weniger von ihnen berührt wird. Die Einrichtung ist deshalb weniger oft als die zuerst besprochene in Anwendung gebracht; am häufigsten begegnet man ihr auf österreichischen Werken.

Vereinzelt hat man auch oberirdische, von je einem Eisenblechmantel umgebene Wärmespeicher neben dem Ofen angeordnet, wie in Abb. 43 und 44 zur Anschauung gebracht ist[1]). Der Ofen steht frei auf einem eisernen Unterbau und ist von einer Bühne aus zugänglich, welche in der Höhe der Oberkante der Wärmespeicher angebracht ist. Der Raumbedarf hierbei ist jedoch erheblich, und die Wärmeverluste sind gröfser als bei unterirdischen Wärmespeichern. Häufige Nachahmung hat deshalb die Einrichtung nicht gefunden.

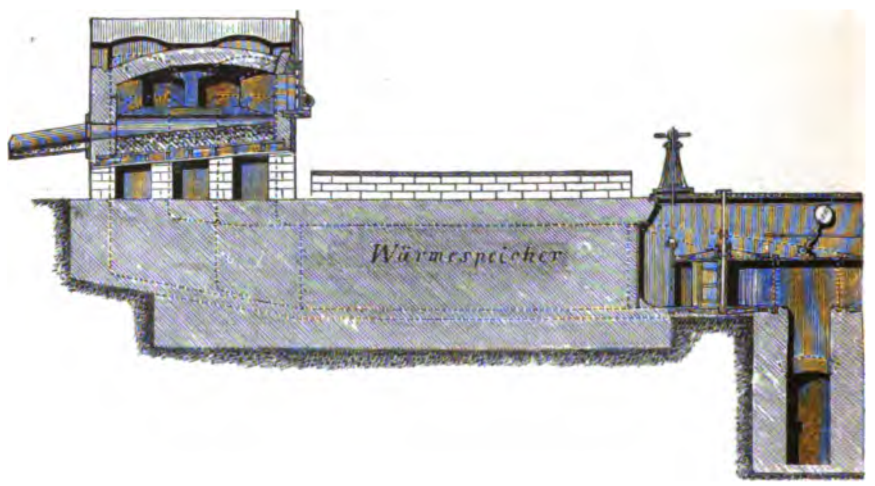


Abb. 42.

Werden aber von dem Herde des Ofens durch den Gasstrom staubförmige Körper mitgenommen, welche in den Wärmespeichern sich ablagern, die Kanäle verstopfen und die Zerstörung der dort eingebauten Ziegel beschleunigen können, so legt man wohl die unterirdischen stehenden Wärmespeicher neben den Ofen und schaltet dazwischen je eine geräumige als Staubsack dienende Kammer ein. Beispiele dafür sind in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde gegeben (Martinöfen).

Abmessungen der Wärmespeicher. Je kleiner diese sind, je weniger Wärme also in ihnen angesammelt ist, wenn sie eine bestimmte Temperatur angenommen haben, in desto kürzeren Zwischenräumen mufs umgeschaltet werden, wenn nicht erhebliche Temperaturschwankungen im Ofen selbst entstehen sollen. Mit

[1]) Die Eigentümlichkeiten dieser Öfen sind teils von Batho, teils von Dick und Riley erfunden werden. Vergl. hierüber: „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 582; 1884, Seite 715; 1887, Seite 382 und Seite 848; Journal of the Iron and Steel Institute 1887, II, Seite 119; ferner Deutsche Reichspatente Nr. 21698, 29488 und 30899.

dem Brennstoffverbrauche des Ofens mufs demnach bei gleicher Zeitdauer zwischen den Umschaltungen der Rauminhalt der Wärmespeicher wachsen. Gruner berechnet auf Grund theoretischer Erwägungen, dafs bei Benutzung von Steinkohlen-Luftgas je zwei zusammengehörige Wärmespeicher einen Ziegelinhalt von 50 kg für jedes innerhalb zweier Umschaltungen zu vergasende Kilo-

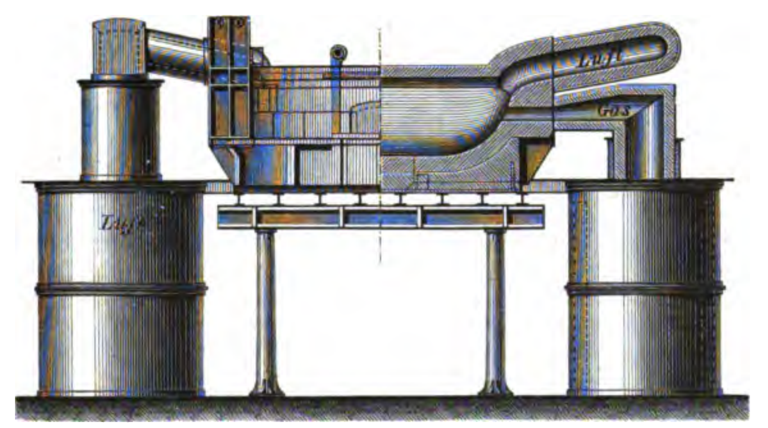


Abb. 43.

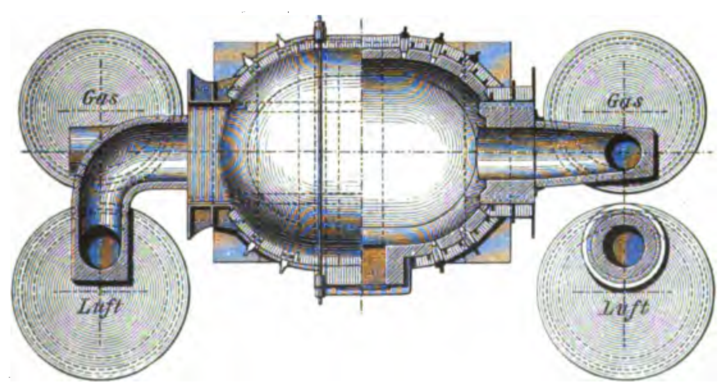


Abb. 44.

gramm Kohlen enthalten müssen[1]); häufiger gibt man 60 kg Ziegeln und rechnet als Zeitdauer zwischen den Wechseln eine Stunde. 60 kg Ziegeln besitzen einen Rauminhalt von 0,033 cbm (spezifisches Gewicht der Ziegeln = 1,8): innerhalb der Wärmespeicher aber nehmen die Ziegeln ungefähr die Hälfte des gesamten Raumes ein, während die andere Hälfte für die Kanäle übrig bleibt. Der erforderliche Rauminhalt eines Paares von Wärmespeichern würde demnach 0,066 cbm für jedes Kilogramm Kohle ein, welches inner-

[1]) Gruner, Abhandlungen über Metallurgie, übersetzt von F. Kupelwieser. Paris 1877. Seite 400.

halb zweier Wechsel zur Vergasung gelangt, oder 6,6 cbm für je 100 kg Kohle. Da der ungefähre Brennstoffverbrauch der Öfen für verschiedene Zwecke durch Erfahrung bekannt ist, läfst sich aus diesem der erforderliche Rauminhalt der Kammern berechnen. Im übrigen kann man, wenn die Wirkung der Kammern von berechneter Gröfse nicht genau den Erwartungen entspricht, Abhilfe schaffen, indem man die Zeitdauer der Wechsel abkürzt oder unter Umständen auch verlängert. In Wirklichkeit findet man den Rauminhalt je eines Paares Kammern = 4,0—8,0 cbm für je 100 kg stündlich verbrannter Steinkohle, und bei Benutzung von Gasen aus anderen Brennstoffen (Braunkohle, Torf, Holz) verringert sich der Rauminhalt in ungefähr dem gleichen Verhältnisse, als die Gasausbeute aus jenen geringer ist. Die Zeitdauer zwischen zwei Wechseln beträgt hierbei, wie schon erwähnt, etwa eine Stunde.

Der Querschnitt der Kammer mufs so bemessen sein, dafs die Geschwindigkeit der hindurchziehenden Gase nicht allzu beträchtlich ausfällt. Auf 100 kg stündlich verarbeiteter Steinkohle findet man meistens einen Gesamtquerschnitt eines Paares Kammern von 2,5—3 qm, auf 100 kg Braunkohle von 1,5—2 qm, wovon, wie erwähnt, die Hälfte auf die Kanäle entfällt. Mitunter jedoch, zumal bei liegenden Wärmespeichern, sind jene Ziffern noch niedriger. 1 kg Steinkohle liefert bei Verbrennung mit einem Luftüberschufs von 20—25 v. H. ungefähr 11 cbm Verbrennungsgase von Null Grad [1]), deren Rauminhalt sich, wenn sie mit 1200° C. Temperatur in die Wärmespeicher eintreten, auf 48,8 cbm vergröfsert [2]); bei einem stündlichen Steinkohlenverbrauche von 100 kg und 1200° Temperatur der Gase erhält man demnach eine Gasmenge in der Sekunde = 1,3 cbm und deren Geschwindigkeit bei 1,34 qm freiem Querschnitte der Kanäle in den Wärmespeichern = 1 m. Hierbei kommt nun noch in Betracht, dafs die Gase desto langsamer sich bewegen, je mehr sie sich beim Hindurchziehen abkühlen, und dafs in jedem Falle die Bewegungsgeschwindigkeit des unverbrannten Gases wie der Luft noch geringer ist, so dafs auch bei erheblich kleinerem Querschnitte kaum eine allzu grofse Geschwindigkeit sich ergeben wird.

Den erforderlichen Gesamtquerschnitt der zueinander gehörigen Wärmespeicher verteilt man entweder gleichmäfsig auf beide oder — häufiger — man gibt dem für die Erhitzung der Luft bestimmten Wärmespeicher einen etwas gröfseren Querschnitt als dem für die Erhitzung des Gases dienenden (Abb. 35). Man nimmt hierbei Rücksicht auf den Umstand, dafs zwar die Raummenge der theoretisch erforderlichen Verbrennungsluft annähernd die gleiche ist wie die des zu verbrennenden Gases, die Luft aber kalt, das Gas dagegen schon mehr oder weniger heifs in den Wärmespeicher einzutreten pflegt, und dafs aufserdem in den meisten Fällen ein, wenn auch geringer Luftüberschufs zur Verwendung gelangt.

[1]) Da der erforderliche Luftüberschufs bei Siemensfeuerungen niedriger ist als bei Rostfeuerungen, ist auch die Menge der Verbrennungsgase geringer, als in Anmerkung 1 auf Seite 150 für Rostfeuerungen angegeben wurde.

[2]) Formel: $V_1 = V(1 + 0{,}00366\,t)$, worin V den Rauminhalt bei gewöhnlicher Temperatur, V_1 bei der höheren Temperatur t bedeutet.

Häufig findet man aus diesen Gründen ein Verhältnis der Querschnitte = 4 : 3 bis 3 : 2.

Aus dem berechneten Rauminhalte der Wärmespeicher und ihrem Querschnitte ergibt sich ihre Höhe (bei liegenden Kammern die Länge). Nicht selten sind jedoch diese Abmessungen auch durch die Bauart des Ofens bedingt. Stehenden Wärmespeichern, zumal wenn sie unter dem Ofen liegen, gibt man selten eine gröfsere Höhe als 3 m (innerhalb des Ziegelgitterwerks, also ohne die unter diesem liegenden Kanäle und ohne den freien Raum zwischen den Ziegeln und der Decke).

Die Umsteuerungs- oder Wechselvorrichtungen. Von Siemens wurde für die Umsteuerung eine um 90° drehbare Klappe, die Wechselklappe genannt, zur Anwendung gebracht, welche seitdem bei zahlreichen Öfen Benutzung gefunden hat. Auch die oben abgebildeten Öfen sind mit solchen Klappen versehen, deren Einrichtung in Abb. 37 und 38 erkennbar ist. Sie bestehen aus Gufseisen oder Stahlgufs, sind gewöhnlich durch aufgegossene Rippen verstärkt und befinden sich in einem ebenfalls eisernen Gehäuse. Am Scheitel des Gehäuses für die Luftklappe ist ein Ventil zur Regelung des Luftzuflusses angebracht; der Gaszuflufs wird durch ein ähnliches Ventil in der Leitung geregelt[1]). In Abb. 37 und 38 haben die Klappen, wie in den meisten Fällen, wagerechte Drehungsachse, bei dem Ofen Abb. 42 dagegen sind Klappen mit senkrechter Achse zur Anwendung gebracht, und ein Gegengewicht mit Hebel hält sie in der ihnen erteilten Stellung fest.

Diese Klappen haben jedoch den Nachteil, dafs sie bei starker Erhitzung sich leicht werfen und dann nicht mehr dicht schliefsen. Bei den älteren Siemensöfen vermied man eine zu starke Erhitzung der Klappen, indem man die Gase in der auf Seite 128 beschriebenen Einrichtung abkühlte. Wo die Einrichtung bereits aus früherer Zeit vorhanden ist, macht man auch jetzt noch von ihr Gebrauch; bei Neuanlagen, welche für die Verwendung wasserarmer Brennstoffe bestimmt sind, zieht man es gewöhnlich vor, die Gaserzeuger unweit von den Öfen aufzustellen, um nicht unnötigerweise Wärme preiszugeben, und führt die Gase durch eine unterirdische Leitung nach der Wechselvorrichtung.

In letzterem Falle treffen also die Gase heifser auf die Klappe, und die Gefahr, dafs diese undicht werde, ist gröfser.

An Stelle der Klappe benutzt man mitunter eine Glocke, wie in den Abb. 45 und 46 a. f. S. dargestellt ist. Sie besteht aus einer Blechhaube *a*, welche durch eine senkrechte Scheidewand in zwei Hälften geteilt ist. Mit ihrem unteren Rande steht sie in einer gufseisernen ringförmigen Rinne oder Zarge mit zwei, unter rechten Winkeln sich kreuzenden Querrinnen, welche den Kreis in vier, mit ebenso vielen Kanälen in Verbindung stehende Viertelkreise einteilen. Die Rinnen sind zur Erzielung eines dichten Abschlusses mit Wasser gefüllt. Von den in Abb. 46 in Punkten ge-

[1]) Abbildungen verschiedener solcher Klappen: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. III, Seite 528.

zeichneten Kanälen dient *b* zum Zuströmen des unverbrannten Gases (oder der Luft), *c* und *d* führen nach den zwei Wärmespeichern für die Erhitzung des Gases (oder der Luft), *e* führt zur Esse. Nimmt die Glocke eine Stellung ein wie in Abb. 46, so ist der

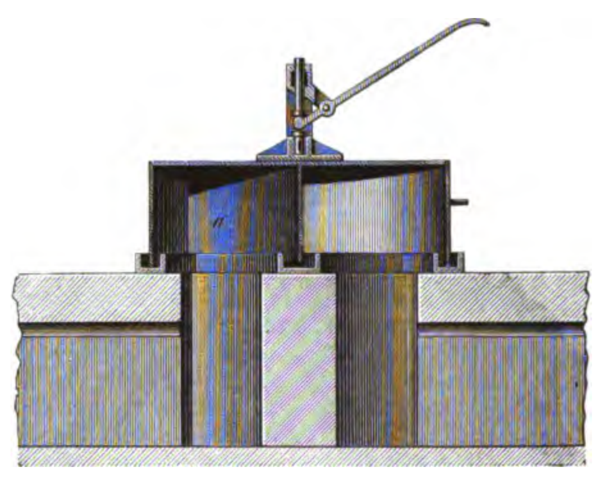


Abb. 45.

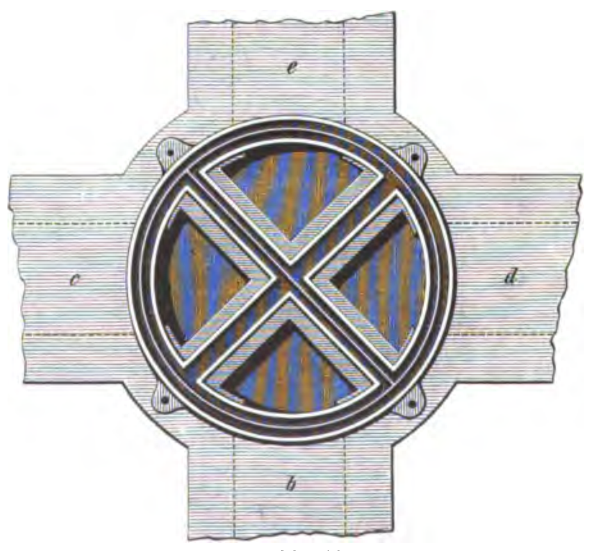


Abb. 46.

Kanal *b* mit *c* und der Kanal *d* mit *e* durch die Scheidewand der Glocke getrennt. Das von *b* kommende Gas (oder die Luft) zieht also durch *c* nach dem betreffenden Wärmespeicher, um hier erhitzt zu werden und dann in den Ofen einzutreten; die Verbrennungsgase kommen durch *d* zurück und ziehen durch *e* nach

der Esse. Soll mit der Zugrichtung gewechselt werden, so wird die Glocke mit Hilfe des in Abb. 45 erkennbaren Hebels so weit gehoben, dafs die Scheidewand (deren unterer Rand etwas höher liegt als der Rand der Glocke) aus der Rinne heraustritt, während der Rand der Glocke, damit nicht äufsere Luft eintreten kann, noch eintaucht; dann wird die Glocke um 90 Grade gedreht, wobei eine an der Seite angenietete Handhabe (in Abb. 45 sichtbar) benutzt wird. Senkt man nun die Glocke wieder, so steht der Kanal *b* mit *d*, *c* mit *e* in Verbindung, und die Gase müssen demnach den umgekehrten Weg als zuvor nehmen.

Um jenes Anheben und die Drehung leicht zu ermöglichen, umfafst der Hebel die am Kopfe der Glocke befestigte Stange, ohne ihre Drehung zu hindern; die Stange ist in einem von zwei senkrechten Stützen getragenen Querstege geführt, an welchem auch der Arm sich befindet, in dem der Drehungspunkt für den Hebel angebracht ist.

Für die Anwendung der Vorrichtung zur Umsteuerung sehr heifser Gase hat man bisweilen nach v. Ehrenwerths Vorschlage die Glocke im Innern mit feuerfesten Ziegeln ausgemauert, die Wasserrinnen zwischen den vier Kanälen beseitigt und an diesen Stellen den Abschlufs nur durch die Steine der Glocke bewirkt, welche sich auf die gemauerten Scheidewände der Kanäle aufsetzen, während der Abschlufs nach aufsen durch eine ringsherum laufende, vor der Erhitzung durch die Ausmauerung geschützte Wasserrinne vervollständigt werden kann. Solche ausgemauerte Glocken sollen sich gut bewährt haben[1]).

Noch einfacher als diese Glockensteuerung ist eine von Forter eingeführte und bei Neuanlagen mehrfach zur Anwendung gelangte Vorrichtung, welche in Abb. 47 und 48 dargestellt ist[2]). Ein gufseiserner, mit aufstehenden Rippen versehener Rahmen dient zum Tragen der einzelnen Teile und ist mit Wasser gefüllt, welches gasdichten Abschlufs bildet. Da jene Teile jedoch nicht auf den Boden des Rahmens, sondern auf niedrige eingegossene Rippen sich aufsetzen, läfst sich abgelagerter Schlamm oder Teer auch ohne Unterbrechung des Betriebes leicht entfernen. Das Gas oder die Luft tritt durch die Öffnung im Scheitel des Gehäuses ein, zieht in der gezeichneten Stellung des Kappenventils durch den Kanal links nach dem Ofen, während die Verbrennungsgase durch den rechts befindlichen Kanal zurückkommen, um durch den Mittelkanal nach der Esse zu entweichen. Zur Umsteuerung dienen die neben dem Gehäuse sichtbaren Handhebel *aa* (bei kleinen Ventilen genügt ein solcher Hebel). Auf ihrer im Rahmen gelagerten Welle sitzen die Lenker *bb*, deren obere Enden je einen an dem Ventil befestigten Zapfen erfassen; zwei ebensolche Lenker *c* (Abb. 47) dienen zur Sicherung der Bewegung.

---

[1]) Näheres: „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 344; 1886, Seite 668. Über eine neuere, von Turck eingeführte Form der Glocke vergl. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 456 und 693.

[2]) D. R.-P. Nr. 105 064. Die Abbildung ist nach einer von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Tigler in Meiderich (Rheinland) gelieferten Zeichnung eines von ihr gefertigten Ventils hergestellt.

Wenn man nun die Hebel *a* aus der in Abb. 47 gezeichneten Stellung nach links dreht, wird das Ventil durch die Lenker zunächst gehoben und ebenfalls nach links bewegt, bis es schliefslich in der äufsersten Stellung, wie in Abb. 47 durch Punkte angedeutet ist, sich wieder auf den Rahmen aufsetzt. Das Gas oder die Luft strömt jetzt durch den Kanal rechts nach dem Ofen, kommt links zurück und zieht, wie vorher, durch den Mittelkanal nach der Esse. Durch je ein in Ketten hängendes Gegengewicht *dd* wird die Bewegung der Hebel erleichtert[1]).

Auch Hahnsteuerung hat man zur Umschaltung sehr heifser Gase in Anwendung gebracht. Der Hahn ist aus feuerfester Masse hergestellt und ruht in einem ebenfalls aus feuerfestem Stoffe ge-

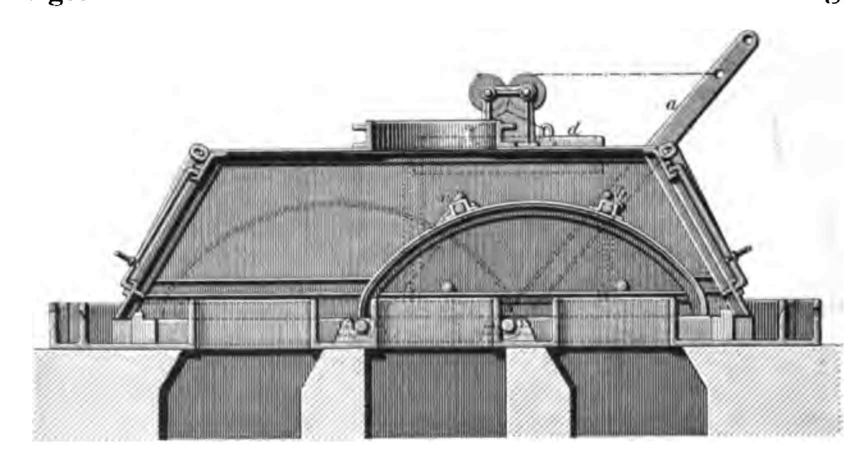


Abb. 47.

fertigten Gehäuse. Um die Reibung bei der Drehung des Hahns zu vermeiden, wird er mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung vor dem jedesmaligen Umsteuern ein wenig emporgehoben[2]). Selbst Muschelschieber, durch Wasserdruck bewegt, haben für den gleichen Zweck Benutzung gefunden[3]).

Die Anordnung der Ausströmungsöffnungen (Brenner) für Gas und Luft. Die Art und Weise, wie das Gas mit der Verbrennungsluft zusammentrifft, ist von Wichtigkeit für die Leistung der Siemensöfen. Je inniger beide gemischt werden, mit desto geringerem Luftüberschufs wird die Erzielung einer vollständigen Verbrennung möglich; je rascher die Mischung stattfindet, desto kürzer wird die Flamme, vorausgesetzt, dafs die

[1]) Über eine von der Firma Poetter & Co. in Dortmund an dieser Umsteuerung angebrachte Neuerung vergl. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 333, 404.

[2]) Abbildung eines solchen Hahns nebst Zubehör: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. III, Tafel 27; daraus in Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 97. Über einige neuere Umsteuerungsvorrichtungen vergl. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 166 (Forter), 690 (Nägel), 738 und 980 (Czekalla), 891 (Simmersbach), 1904, Seite 619 (Kurzwernhart).

[3]) „Stahl und Eisen" 1895, Seite 268.

Dissoziationstemperatur nicht überschritten wird. Die Teile des Mauerwerks eines Siemensofens, in welchen die Einströmungskanäle sich befinden, nennt man die Köpfe des Ofens.

Einfach ist die Anordnung der Gas- und Luftzuführungen bei dem oben in Abb. 41 und 42 abgebildeten Ofen: sie bestehen aus zwei in gleicher Höhenlage befindlichen, unter einem Winkel von etwa 60 Graden zusammenlaufenden Kanälen, deren Mündungen in Abb. 42 erkennbar sind. Hierbei entsteht allmähliche Mischung und eine lange Flamme. Nicht selten verteilt man, um die Mischung zu erleichtern, Gas und Luft in mehrere Kanäle, welche abwechselnd nebeneinander liegen; z. B. drei Gaskanäle und dazwischen zwei Luftkanäle [1]).

Häufiger als nebeneinander ordnet man die Öffnungen übereinander an, und zwar stets die Luftöffnung oben, die Gasöffnung darunter. Für die letztere Anordnung ist der Umstand mafsgebend, dafs die Luft bei gleicher Temperatur spezifisch schwerer ist als das Gas, und dafs mithin, wenn erstere über letzterem einströmt, die Mischung mehr befördert wird als im umgekehrten Falle. Friedrich Siemens sagt hierüber: [2]) „Im allgemeinen tut man am besten, das Gas durch einen horizontalen Schlitz, welcher in der Seite der Ofenkammer angebracht ist, eintreten zu lassen, über welchem die Luft durch einen ähnlichen Schlitz von etwas gröfserem Querschnitt und einer den Gasschlitz auf beiden Seiten überragenden Länge ebenfalls eintritt. Da das Gas von erheblich geringerem spezifischem Gewicht ist als die Luft und daher eine Tendenz zeigt, durch die Luft in die Höhe zu steigen, während die Luft durch das Gas herabsinkt, so wird auf solche Weise in den meisten Fällen eine genügend schnelle und vollständige Mischung möglich werden.“

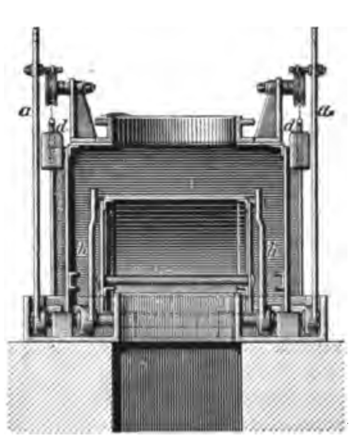


Abb. 48.

Bei dem oben in Abb. 43 gezeichneten Ofen findet eine solche Zuführung der Luft oberhalb des Gases statt.

Auch bei dieser Art der Luft- und Gaszuführung teilt man häufig das eintretende Gas in mehrere Parallelströme zur Erzielung einer gröfseren gegenseitigen Berührungsfläche. Als Beispiel hierfür kann der in Abb. 35—37 (S. 154) dargestellte Ofen dienen. Oberhalb des Wärmespeichers *A* (Abb. 35) gewahrt man den einen von je zwei Gaskanälen, deren Mündungen in Abb. 37 sichtbar sind; die Luft steigt aus dem Wärmespeicher *B* durch drei (in Abb. 37 durch Punkte angedeutete) Kanäle empor, welche sich oberhalb

---

1) Ledebur, Gasfeuerungen, Abb. 40—42.

2) Fr. Siemens, Über den Verbrennungsprozefs mit spezieller Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887. Seite 9.

der Gaskanäle in einem einzigen breiten Einströmungsschlitze vereinigen[1]).

Die Gröfse des Ausströmungsquerschnitts für Luft beträgt für je 100 kg stündlich verbrannter Steinkohle im Mittel etwa 0,07 qm, des Ausströmungsquerschnitts für Gas etwa 0,06 qm, während ein Vergleich dieser Querschnitte bei verschiedenen Öfen allerdings erhebliche Abweichungen erkennen lässt[2]).

Der Heizraum. Der Querschnitt des Heizraums soll neueren Erfahrungen gemäfs nicht allzu knapp bemessen sein. Bei dem in Abb. 35 dargestellten Ofen senkt sich das Gewölbe etwas nach der Mitte zu, der vertieften Form des Herdes folgend; bei dem Ofen Abb. 41 steigt es nach der Mitte zu empor, hier der Entfaltung der Flamme einen genügenden Raum bietend. Die Gase finden in einem Ofen der letzteren Art geringere Reibungswiderstände; ihre Neigung zur Dissoziation wird geringer. Ein anderer Nutzen dieser Ofenform ist die gröfsere Haltbarkeit der Ofendecke. Öfen mit solchen weiten Heizräumen für Zwecke des Eisenhüttenbetriebs sind zuerst von österreichischen Eisenhüttenleuten gebaut worden; auf ihre Vorteile ist man erst allgemeiner aufmerksam geworden, nachdem Fr. Siemens durch Abhandlungen und öffentliche Vorträge darauf hinwies[3]).

Die Esse. Da die Verbrennungsluft, wie oben erwähnt wurde, nicht durch ein Gebläse zugeführt, sondern durch eine Esse angesaugt wird, die Widerstände, welche sich der Fortbewegung der Verbrennungsgase in den Siemensöfen entgegensetzen, aber ziemlich erheblich sind, ist eine kräftig wirkende Esse erforderlich, damit ausreichend lebhafte Verbrennung stattfinden kann. Eine zuverlässige Berechnung jener Widerstände ist unmöglich, da die Verhältnisse, unter welchen die verschiedenen Siemensfeuerungen betrieben werden, sehr abweichen; man mufs sich mit Erfahrungsergebnissen begnügen.

Je weniger heifs die Gase in die Esse eintreten, desto zugkräftiger muss diese sein. Die Temperatur der Gase aber hängt ab von der Beschaffenheit des Brennstoffs, von der mehr oder weniger starken Abkühlung, welche die Gase vor dem Eintritte in den Ofen erlitten, von der Temperatur und dem Wärmeverbrauch im Ofen,

---

[1]) Über sonstige Anordnungen vergl. Fr. Toldt, Regenerativ-Gasöfen, Tafel IV, sowie die unter Literatur genannte Abhandlung Schmidhammers in „Stahl und Eisen" 1894, Seite 751; über einen Ofen mit Regelung der Gas- und Luftzuführung durch verschiedene Öffnungen (Schönwälders Ofen): „Stahl und Eisen" 1892, Seite 989.

[2]) Nach Fr. Toldt (Regenerativ-Gasöfen, Seite 296) sollen die Austrittsquerschnitte so bemessen werden, dafs das Gas und die Luft keine gröfsere Geschwindigkeit als 8 m in der Sekunde annehmen.

[3]) Friedrich Siemens, Über den Verbrennungsprozefs mit spezieller Berücksichtigung der praktischen Erfordernisse. Berlin 1887. — Friedrich Siemens, Über ein neues Verbrennungs- und Heizungssystem. Glasers Annalen, Bd. 16, Seite 126. Die von Fr. Siemens aufgestellten Theorien sind nicht unanfechtbar; auch ist die von ihm in den genannten Abhandlungen ausgesprochene Meinung irrig, dafs er der Erfinder dieser Ofenform sei. Schon zu Anfang der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts sind ganz ebensolche Öfen von anderen gebaut worden.

von der Einrichtung der Wärmespeicher, von der Einrichtung der Gasleitung zwischen Ofen und Esse.

Wo man mehrere Öfen betreibt, gibt man ihnen mitunter aus Ersparungsrücksichten eine gemeinschaftliche Esse. Zweckmäfsiger ist es jedoch, jeden Ofen mit einer eigenen Esse zu versehen, da die Zugverhältnisse bei gemeinschaftlicher Esse sich ändern, wenn einzelne Öfen kalt gelegt werden.

Aus dem mutmafslichen Brennstoffverbrauche würde sich der erforderliche Essenquerschnitt berechnen lassen, wenn man annimmt, dafs 1 kg Steinkohle etwa 20 cbm Verbrennungsgase von 300 ° C., 1 kg Braunkohle etwa 15 cbm, 1 kg Torf 13 cbm liefern [1]) und die Geschwindigkeit der Gase nicht über 5 m in der Sekunde betragen soll. Sind die Gase heifser als 300 ° C., so vergröfsert sich dadurch zwar ihr Rauminhalt, aber auch die zulässige gröfste Geschwindigkeit wird beträchtlicher, so dafs hierdurch ein Ausgleich stattfindet.

Die Höhe der Esse bei Siemensfeuerungen schwankt zwischen 15 bis 40 m, je nachdem ein oder mehrere Öfen mit der Esse verbunden sind und je nachdem eine niedrigere oder höhere Temperatur in dem zu heizenden Ofen erzeugt werden soll. Bei allzu niedrigen Essen wird der Zug leichter durch die Witterungsverhältnisse beeinflufst.

Abarten der Siemensfeuerungen.

Die etwas schwerfällige und jedenfalls kostspielige Einrichtung der Siemensöfen hat man mehrfach dadurch zu vereinfachen gesucht, dafs man statt der vier Wärmespeicher nur zwei, zum Erhitzen der Luft bestimmt, anlegte, das Gas aber, ohne es einer besonderen Vorwärmung zu unterziehen, unmittelbar vom Gaserzeuger dem Ofen zuführte.

Erwägt man, dafs manche mit Steinkohlen gespeiste Gaserzeuger, zumal wenn sie mit Unterwind betrieben werden, ihre Gase mit einer Temperatur von über 900 ° C. entlassen, so wird man sich sagen, dafs bei sofortiger Verbrennung solcher heifsen Gase mit erhitzter Luft ebenso hohe Temperaturen erreichbar sein müssen, als nach voraufgegangener Wiedererhitzung des zuvor abgekühlten Gases. In der Tat sind derartige vereinfachte, nur mit zwei Wärmespeichern versehene Siemensfeuerungen für verschiedene Zwecke mit gutem Erfolge hier und da in Anwendung gebracht worden. Dafs man in solchen Öfen mitunter imstande sein wird, gegenüber den Siemensöfen mit langen Gasleitungen, in welchen das Gas absichtlich oder unabsichtlich abgekühlt wird, also jedenfalls Wärme verloren geht, eine gewisse Menge Brennstoff zu ersparen, ist nicht zu bezweifeln; indessen wird man leicht versucht, sich von dieser erreichbaren Brennstoffersparung etwas übertriebene Vorstellungen zu machen. Die Erklärung dafür, dafs der Erfolg häufig die gehegten Erwartungen nicht erfüllt hat, ergibt sich aus nachstehender Betrachtung.

Aus dem Verbrennungsherde der Flammöfen müssen die Gase

[1]) Die Ziffern beziehen sich auf den Rauminhalt der heifsen Gase.

mit einer Temperatur austreten, welche höher ist als diejenige, welche der zu erhitzende Körper annehmen soll, weil sonst die Erhitzung des letzteren auf das erforderliche Mafs nicht möglich sein würde. Da die Siemensfeuerungen vorzugsweise für solche Zwecke Verwendung finden, deren Erreichung nur in hohen Temperaturen möglich ist, entweichen auch ihre Verbrennungsgase mit hoher Temperatur und führen eine entsprechende Wärmemenge mit fort. Diese Wärme geben sie zum grofsen Teile in den Wärmespeichern ab, und die abgegebene Wärme wird nutzbar gemacht, indem sie nach erfolgtem Wechsel von dem zuströmenden unverbrannten Gase und der Verbrennungsluft in den Ofen zurückgeführt wird. Erfahrungsmäfsig reicht die von den Gasen mitgenommene Wärme aus, die beiden für die Vorwärmung von Gas und Luft bestimmten Wärmespeicher in einer Weise zu erhitzen, dafs schon in Rücksicht auf die beschränkte Feuerfestigkeit der Ofenbaustoffe eine erheblich stärkere Erhitzung kaum möglich sein würde.

Sieht man nun von einer Vorwärmung des Gases ab, ordnet man also nur zwei Wärmespeicher an und verwendet die gesamten Verbrennungsgase zur Heizung nur je eines Wärmespeichers, so werden sie heifser als im anderen Falle diesen verlassen und eine gröfsere Wärmemenge ungenutzt nach der Esse entführen. Eine Vergröfserung der Wärmespeicher würde zwar den Erfolg haben, dafs die Zeitdauer zwischen zwei Wechseln verlängert werden könnte; die Erhitzung der zutretenden Luft aber kann nicht erheblich höher sein als in Öfen mit zwei Paar Wärmespeichern.

Bei Öfen, auf deren Herde eine verhältnismäfsig niedrige Temperatur herrscht und deren Gase also auch geringere Wärmemengen mit fortnehmen, z. B. bei Glühöfen, würde demnach die Einrichtung im allgemeinen mehr Erfolg verheifsen als bei solchen mit hoher Temperatur; gerade in jenen Fällen jedoch pflegt man sich einfacherer Feuerungen zu bedienen und von der Anwendung der immerhin kostspieligen Wärmespeicher überhaupt abzusehen[1]).

Eine günstigere Ausnutzung der aus solchen Öfen abziehenden Wärme würde sich erreichen lassen, wenn man den Teil der Abhitze, welcher durch den Wegfall der Wärmespeicher für Gaserhitzung entbehrlich wird, für andere Zwecke verwendet. Eine Benutzung der Abhitze zur Dampfkesselfeuerung hat bislang nicht oder nur ausnahmsweise stattgefunden, da man sich scheut, den Essenzug durch Einbau des Dampfkessels zu schmälern. Sinnreich ist ein von Biedermann und Harvey gemachter und auf einzelnen Eisenwerken zur Ausführung gelangter Vorschlag, jene entbehrliche Abhitze zur Erzeugung neuen Brenngases zu benutzen, indem man Kohlenstoff durch den Kohlendioxyd- und Wasserdampfgehalt der heifsen Verbrennungsgase verbrennt. Der nicht zur Heizung der Wärmespeicher erforderliche Teil der Verbrennungsgase — aus Kohlendioxyd, Wasserdampf und überschüssigem freien

[1]) Als ein Beispiel eines solchen Ofens mit nur einem Paar Wärmespeicher kann ein von Pütsch erbauter Glühofen dienen, abgebildet in B. Kerl, Grundrifs der allgemeinen Hüttenkunde, 2. Aufl., Seite 198; ferner in Ledebur, Gasfeuerungen, Seite 108.

Sauerstoff nebst dem mitgeführten Stickstoff bestehend — wird demnach bei dem von Biedermann und Harvey erfundenen Ofen[1]) in den Gaserzeuger zurückgeführt, um hier in Brenngas umgewandelt zu werden. Aus dem Kohlendioxydgehalt des Gases wird Kohlenoxydgas ($CO_2 + C = 2CO$), und die gleiche Menge des hierbei vergasten Kohlenstoffs liefert hierbei die doppelte Menge Kohlenoxydgas, als bei der Vergasung durch freien Sauerstoff; aus dem Wasserdampfgehalte der Gase wird Wassergas ($H_2O + C = 2H + CO$). Der für diese Vorgänge erforderliche Wärmebedarf wird eben durch die von den zuströmenden heifsen Gasen mitgebrachte Wärme gedeckt, und hierauf beruht der Nutzen des Verfahrens. Die sonst ungenutzt aus dem Ofen entweichende Wärme wird hier zur Neubildung von Gas verbraucht, bei dessen Verbrennung im Ofen sie wieder entwickelt wird. Durch den freien Sauerstoff, welcher in den abziehenden und dem Gaserzeuger wieder zugeführten Gasen fast stets anwesend ist, wird zugleich Luftgas unter Entwicklung von Wärme erzeugt, und diese Wärme wird ebenfalls dazu verwendet, den besprochenen Wärmeverbrauch zu decken; durch Zuführung äufserer Luft neben den Verbrennungsgasen läfst sich diese Wärmeerzeugung entsprechend vermehren. In Wirklichkeit hat sich ergeben, dafs eine reichliche Zuführung von Luft stets erforderlich ist, um den Ofen in befriedigendem Gange zu erhalten; nach Toldt[2]) beträgt die Luftmenge das Vierfache von der Menge der zurückgeführten Verbrennungsgase. Die Untersuchung der Gase[3]) eines mit Newcastle Würfelkohle gespeisten Gaserzeugers ergab folgende Zusammensetzung:

	Raumteile	Gewichtsteile
Kohlenoxyd	22,5	26,1
Wasserstoff	16,3	1,4
Methan	2,6	1,8
Kohlendioxyd	4,5	8,2
Stickstoff	54,1	62,5
	100,0	100,0

1 cbm dieses Gases wiegt seiner Zusammensetzung gemäfs 1,079 kg und entwickelt 1350 W.-E.; 1 kg entwickelt 1250 W.-E. Die Zusammensetzung ist der mittleren Zusammensetzung des Mischgases (Seite 134) ähnlich; der Kohlendioxydgehalt des Gases soll jedoch oft weit über das hier angegebene Mafs hinausgehen[2]).

Der beschriebene Ofen ist mehrfach in Grofsbritannien zur Anwendung gekommen, auch in Frankreich und Belgien auf einigen Werken eingeführt, hat dagegen in Deutschland nur vereinzelt Eingang gefunden.

[1]) In der Literatur wird dieser Ofen gewöhnlich als neuer Siemensofen bezeichnet. Die wichtigeren der für und wider diesen Ofen geschriebenen Abhandlungen sind unter den Literaturnachweisen am Schlusse dieses Abschnitts aufgeführt. Auch Abbildungen des Ofens sind in jenen Abhandlungen enthalten.

[2]) Fr. Toldt, Regenerativ-Gasöfen, Seite 108.

[3]) Mitgeteilt in einer von der Aktiengesellschaft für Glasindustrie, vormals Friedr. Siemens in Dresden versandten Schrift: Neuer Siemens-Regenerativofen, Seite 19.

Neuere Gasflammöfen ohne Wärmespeicher.

Nachdem man durch die Siemensfeuerungen den Beweis erlangt hatte, dafs die Vergasung nicht allein geringwertiger Brennstoffe, sondern auch der Steinkohlen Vorteile zu gewähren vermöge, ging man hier und da zur Einführung von Öfen über, welche, einfacher und in der Anlage billiger als Siemensöfen, vorzugsweise für die Benutzung von Steinkohlen-Luftgas bestimmt waren und neben den Siemensöfen eine ziemlich häufige Verwendung besonders im Eisenhüttenbetriebe gefunden haben. Bei allen diesen Öfen liegt der Gaserzeuger unmittelbar am Ofen, so dafs die Gase noch heifs in den letzteren eintreten, und eine Vereinigung mehrerer Gaserzeuger zu einer Gruppe, welche bei umfänglicheren Anlagen von Siemensfeuerungen nützlich sein kann, findet nicht statt; die Verbrennungsluft wird, statt in Wärmespeichern, in Kanälen vorgewärmt, welche durch das Gemäuer des Ofens hindurchziehen. Die Richtung des Flammenstromes im Ofen bleibt unverändert; die abziehenden Gase aber verlassen, wie bei den Öfen mit Rostfeuerung, den Ofenherd mit hoher Temperatur und lassen sich ebenso wie dort zu Nebenzwecken (Dampfkesselfeuerung) verwenden. Obgleich also die Wärmeausnutzung für die eigentlichen Zwecke des Ofens ungünstiger ist als bei den Siemensfeuerungen, in welchen die abziehende und in den Wärmespeichern angesammelte Wärme zum grofsen Teil wieder in den Ofen zurückgeführt wird, ermöglicht doch jene Benutzung der Abhitze in wirtschaftlicher Beziehung einen teilweisen Ausgleich in zahlreichen Fällen.

Nicht geeignet sind solche einfacheren Gasfeuerungen da, wo die Erzielung einer sehr hohen Temperatur Bedingung ist. Die Temperatur der Verbrennungsluft bleibt weit hinter jener zurück, welche in Siemensöfen erreichbar ist; in demselben Verhältnisse fällt die Verbrennungstemperatur niedriger aus. Bei allen nur in sehr hoher Temperatur durchführbaren Verfahren (Flufseisenerzeugung) sind demnach die Siemensfeuerungen bis jetzt unersetzt geblieben.

Unter den verschiedenen Gasflammöfen ohne Wärmespeicher haben vornehmlich die nachstehend beschriebenen Öfen von Boëtius und von Bicheroux Bedeutung im Eisenhüttenbetriebe für längere Zeit erlangt. In der neuesten Zeit sind sie seltener geworden, nachdem auch die Verfahren Einschränkung erfahren haben, für welche sie vorwiegend benutzt wurden (Puddeln, Schweifsen).

Boëtiusofen. Die Abb. 49 zeigt die Einrichtung dieses im Anfange der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts erfundenen Ofens. Der Gaserzeuger ist etwa 0,9 m breit, unten durch einen schräg liegenden Rost, an der Rückseite durch eine geneigte Wand begrenzt, oberhalb welcher ein schmaler Spalt zum Einfüllen des Brennstoffs bleibt. Die Verbrennungsluft wird in einem innerhalb der Feuerbrücke hin und her ziehenden, in der Abbildung im Schnitte sichtbaren Kanale vorgewärmt, zieht dann in den beiden Seitenwänden des Gaserzeugers durch die in Punkten angedeuteten Kanäle aufwärts und gelangt schliefslich durch den in der Decke angebrachten Schlitz in den Ofen.

Die Schütthöhe des Brennstoffs in den Boëtiusgaserzeugern ist

verhältnismäfsig gering, und die Folge davon ist die Entstehung eines ziemlich kohlendioxydreichen Gases. Der Umstand ist jedoch nicht sehr von Belang, da das Gas sofort in den Ofen eintritt und somit die bei der Kohlendioxydbildung entstehende höhere Temperatur dem Ofen wieder zugute kommt. Mitunter hat man sogar den Boëtiusgaserzeuger absichtlich so flach gebaut, dafs er einer gewöhnlichen Rostfeuerung ähnlich wird: durch die niedrige Brennstoffschicht dringt bereits ein ziemlich reichlicher Teil der

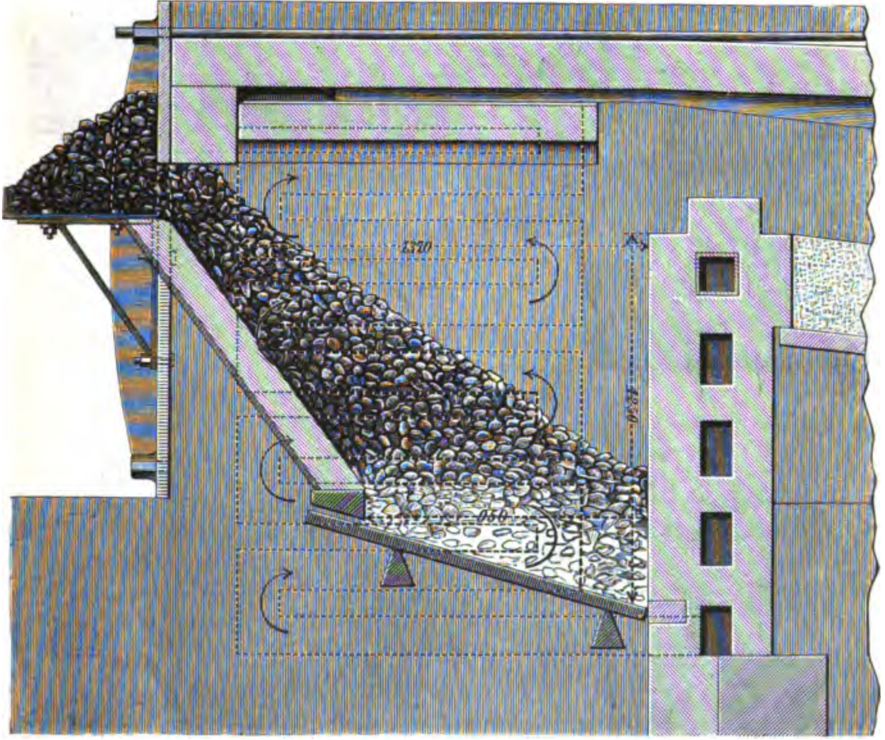


Abb. 49.

Verbrennungsluft, und nur ein beschränkter Teil der letzteren braucht dem Gasstrome noch im Ofen selbst zugeführt zu werden. Man hat eine solche Einrichtung Halbgasfeuerung genannt.

Die Boëtiusfeuerungen sind in den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts vielfach eingeführt worden, und wo sie damals Eingang fanden, sind sie auch jetzt noch bisweilen in Benutzung. Bei Neuanlagen dagegen macht man von ihnen nicht mehr häufig Gebrauch.

Bicherouxofen. Die Abb. 50 und 51 a. S. 174 zeigen in $^1/_{100}$ der wirklichen Gröfse die Einrichtung dieses, zuerst um das Jahr 1870 von Toussaint Bicheroux in Duisburg gebauten und seitdem ziemlich oft angewendeten Ofens. Von dem in seiner allgemeinen Einrichtung ihm ähnlichen Boëtiusofen unterscheidet

er sich durch den gröfseren Rauminhalt seines Gaserzeugers und die abweichende Anordnung der Kanäle für die zuströmende Verbrennungsluft. Statt in den Seitenwänden des Gaserzeugers, wie bei jenem Ofen, liegen sie in dem Gemäuer des Ofens, und zwar unterhalb des von einer Gufseisenplatte getragenen Ofenherdes, wie in der Abbildung erkennbar ist. Abb. 51 stellt einen Schnitt durch

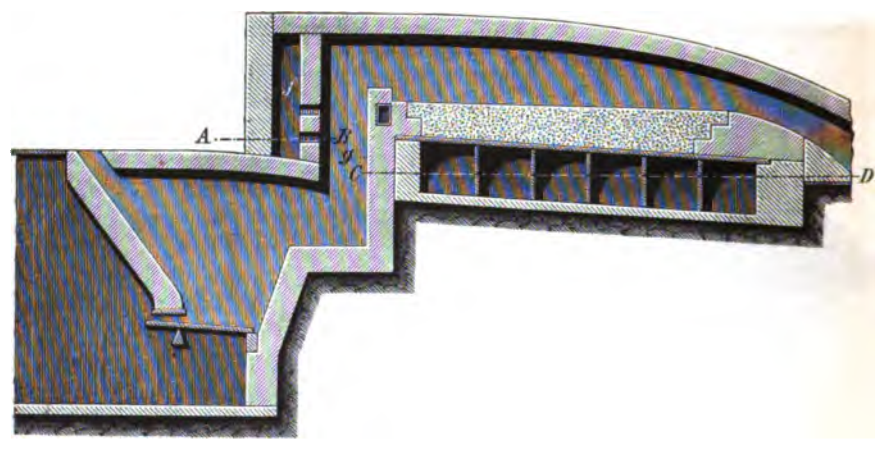


Abb. 50.



Abb. 51.

die Luftkanäle nach der gebrochenen Linie *ABCD* dar. Die Pfeile deuten die Bewegung der Luft an. Sie tritt am Ende des Ofens ein, gelangt in Windungen bis zur Feuerbrücke, sich auf ihrem Wege immer stärker erwärmend, teilt sich hier in zwei Arme, welche in der Rückwand des Ofens sich wieder in dem Kanale *f* vereinigen, und strömt von hier aus durch zwei Reihen Schlitze in wagerechter Richtung auf das im Kanal *g* senkrecht emporsteigende, unmittelbar vom Gaserzeuger kommende Gas.

Flammöfen mit beweglichem Herde.

Wenn auf dem Herde eines Flammofens chemische Einwirkungen hervorgebracht werden sollen, sei es, dafs verschiedene

feste oder flüssige Körper dort gemischt sind und aufeinander wirken sollen, sei es, dafs die vorüberziehenden Gase oxydierende oder reduzierende Einflüsse zu üben bestimmt sind, so ist man bei den Öfen der bisher besprochenen Art mit feststehendem Herde meistens genötigt, durch Rühren, Umschaufeln oder sonstige Arbeiten die Berührung der aufeinander wirkenden Körper öfters zu erneuern. Diese Arbeit kann entbehrlich werden, wenn man den Herd selbst durch eine mechanische Vorrichtung in eine solche Bewegung versetzt, dafs auch die auf ihm angehäuften Körper in Bewegung geraten, sich mischen, ihre Oberfläche erneuern. Seit dem Ende der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts sind solche Flammöfen mit beweglichem (drehbarem oder schwingendem) Herde wiederholt in Anwendung gebracht worden. Die Öfen mit drehbarem Herde kann man Drehöfen, diejenigen mit schwingendem Herde Schaukelöfen nennen.

Drehöfen sind in der Jetztzeit nur noch in seltenen Fällen in Anwendung. Dennoch möge eine kurze Beschreibung ihrer Einrichtung hier Platz finden, weil bei späteren, die Entwicklung der einzelnen Verfahren betreffenden geschichtlichen Mitteilungen mehrfach hierauf Bezug genommen werden wird. Sie haben verschiedene Form, abweichend nach der Lage ihrer Achse. Die Abb. 52 und 53 zeigen die Einrichtung eines von W. Siemens im Anfange der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gebauten Drehofens mit wagerechter Achse, zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen bestimmt. *a* ist der eigentliche Ofen, aus einem Eisenblechmantel mit feuerfestem Futter bestehend, in der Mitte zylindrisch, nach beiden Enden hin kegelförmig zulaufend. Seine Länge betrug 2—3,5 m, sein äufserer Durchmesser annähernd ebensoviel. Er ruhte auf vier Rollen *kk* (Abb. 53). Die Drehung wurde ihm von der Welle *e* aus erteilt, welche durch Vermittlung einer Schnecke oder eines Getriebes das auf dem Mantel des Ofens befestigte Getriebe *p* antrieb. Die Heizung dieses Ofens geschah mit Gas, welches, ebenso wie die Verbrennungsluft, in Wärmespeichern, wie bei allen Siemensfeuerungen, vorgewärmt wurde. Alle vier Wärmespeicher lagen in einer Reihe; durch *f* trat die Luft, durch *e* das Gas in den Ofen, in dem Raume *q* fand die Vermischung statt. Es entstand eine Hufeisenflamme, und die Verbrennungsgase entwichen durch zwei ebensolche Kanäle wie *e* und *f*, welche von diesen durch eine senkrechte Scheidewand getrennt waren, nach dem zweiten Paar Wärmespeicher. An der den Wärmespeichern gegenüberliegenden Seite des Ofens befand sich die mit feuerfesten Ziegeln ausgesetzte Schiebetür *i*, welche jedoch nicht mit dem Ofen gedreht wurde, sondern zwischen feststehenden senkrechten Führungen auf und nieder bewegt werden konnte. Der Wagen *n* diente zur Aufnahme von Schlacke, welche ihm durch die Rinne *m* zuflofs.

Bei anderen Drehöfen dieser Art, z. B. bei dem um 1870 eingeführten Ofen des Amerikaners Danks[1]), hat man statt der Siemensfeuerung Rostfeuerung oder irgendeine einfachere Gas-

---

[1]) Abgebildet im Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, Tafel 1—4, ferner in Engineering, Bd. 65, Seite 295.

feuerung zur Anwendung gebracht. An der einen Seite des Ofens liegt in diesem Falle, wie hier, die Feuerung; gegenüber entweichen die Gase durch einen Fuchs nach der Esse. Die Anbringung einer

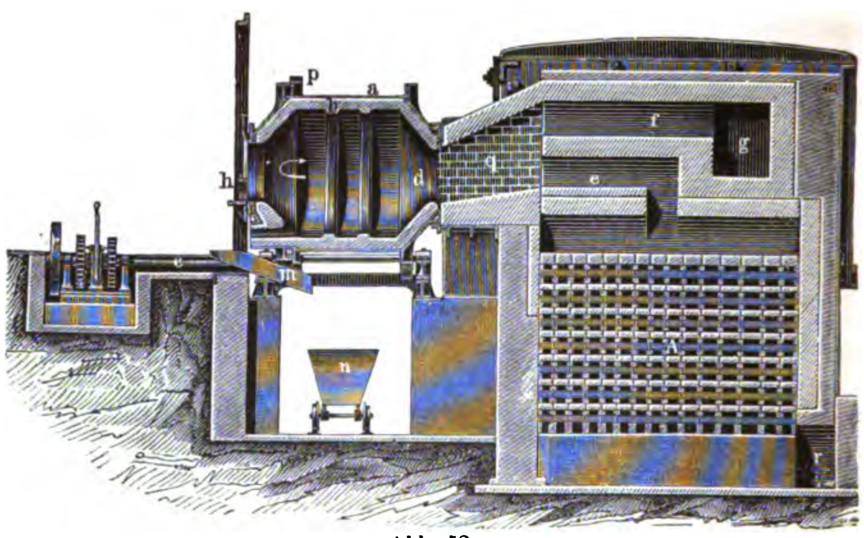


Abb. 52.

Tür, wie bei dem abgebildeten Ofen, ist demnach nicht möglich; damit aber trotzdem das Ofeninnere zugänglich sei, hat man dem Fuchse die Form eines beweglichen, mit feuerfestem Futter versehenen Eisenblechrohrs gegeben, welches mit Hilfe eines Krahns oder einer sonstigen Vorrichtung entfernt und wieder an seine Stelle gebracht werden kann.

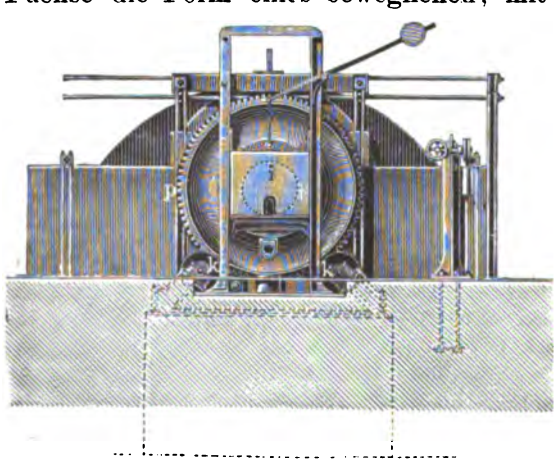


Abb. 53.

Eine hiervon abweichende Einrichtung besitzt der in Abb. 54 auf Seite 177 abgebildete, von P e r n o t in den siebziger Jahren vorigen Jahrhunderts eingeführte und seitdem vereinzelt für verschiedene Zwecke in Anwendung gebrachte Ofen. Der tellerförmige Herd wird um eine schrägstehende Achse gedreht. *l* ist der Herd, aus starkem Eisenblech hergestellt und mit feuerfestem Baustoffe ausgefüttert. In der Mitte sitzt die Achse *d*, in einer Nabe *h* der starken Eisenplatte drehbar. Zur Unterstützung des Herdes dienen aufser-

dem die Rollen *cc*, welche auf einer entsprechend geformten Bahn der Platte *e* laufen. An dem äufseren Umfange des Gufsstücks *a*, auf welchem der Herd befestigt ist, befindet sich der Zahnkranz *b*, im Eingriffe mit einer in der Abbildung nicht sichtbaren Schraube, welche von aufsen her durch eine Welle gedreht wird und die Drehung auf den Zahnkranz und hierdurch auf den Herd überträgt. Die Platte *e* wird von Rädern *ff* getragen, welche es ermöglichen, den ganzen Herd nebst Zubehör wie einen Wagen aus dem Ofen seitlich heraus zu schieben, wenn Ausbesserungen vorgenommen werden sollen. Damit aber während des Betriebs dichter Anschlufs des Herdes an den feststehenden Teil des Ofens erzielt werde, ohne

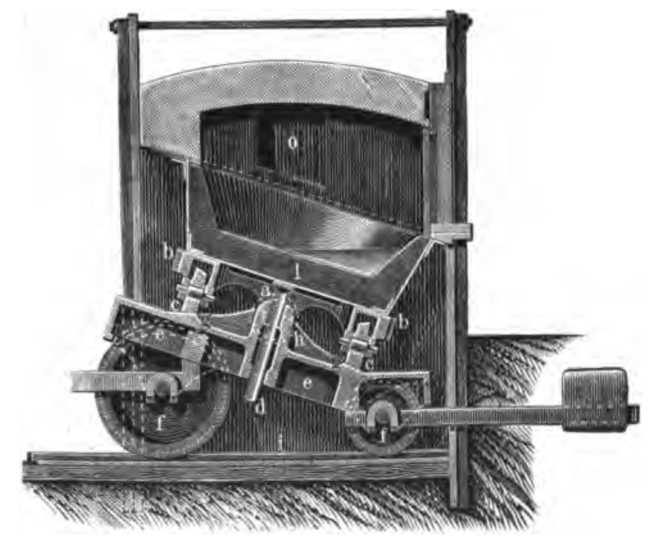


Abb. 54.

dafs jene Bewegung des Wagens erschwert werde, ruht die Platte *e* nicht unmittelbar auf den Rädern, sondern auf Hebeln mit Gegengewichten, wie in der Abbildung erkennbar, welche den Herd empordrücken und solcherart den Anschlufs herstellen, sobald der Wagen an Ort und Stelle ist, sich aber unschwer anheben lassen, wenn der Herd herausgefahren werden soll. *i* sind die Schienen, auf welchen der Wagen läuft. Der oberhalb des Herdes befindliche Teil des Ofens ruht, wie die Abbildung zeigt, auf eisernen Trägern; an der einen Seite schliefst sich die Feuerung an, welche Rost- oder Gasfeuerung sein kann, an der anderen Seite der Fuchs *o*.

Die geneigte Stellung der Herdachse bewirkt, dafs flüssige Körper sich an der tiefsten Stelle sammeln, statt auf der ganzen Herdfläche ausgebreitet oder während der Drehung nach dem Rande hin getrieben zu werden. Hierdurch wird die gleichmäfsige Mischung verschiedenartiger Körper befördert, und die Herdsohle, welche an der höchsten Stelle unbedeckt ist, während der Drehung wiederkehrend der unmittelbaren Einwirkung der Flamme preisgegeben und hierdurch stark erhitzt.

Als Beispiel eines Schaukelofens kann der in Abb. 55 und 56 dargestellte, von Campbell im Jahre 1890 eingeführte Ofen dienen [1]). Er ist, wie die Abbildung erkennen läfst, mit Siemens-

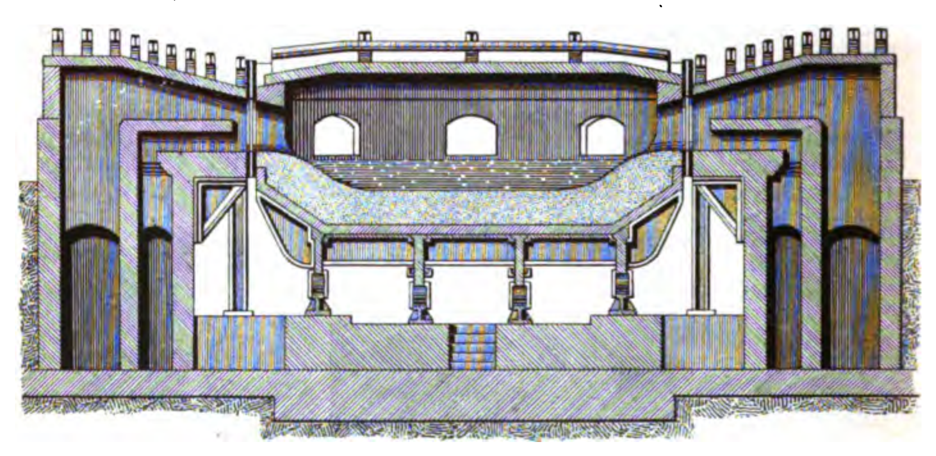


Abb. 55.

feuerung versehen. Der Herd, dessen Grundrifs gebauchte ⊂⊃ Form besitzt, ruht auf vier starken, senkrecht stehenden und untereinander versteiften Trägern, deren untere Flächen, wie die Füfse

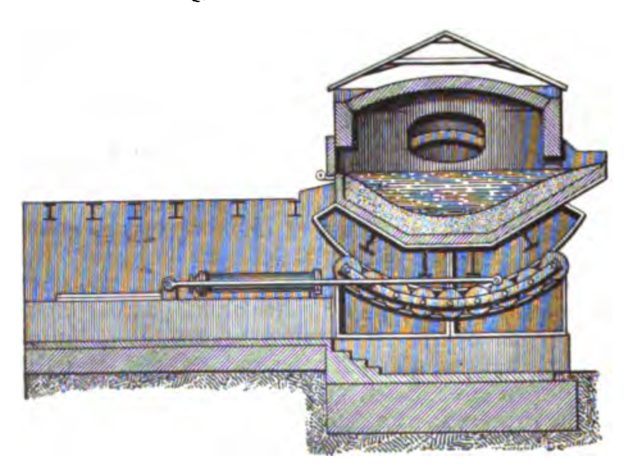


Abb. 56.

einer Wiege, nach einer Kreislinie gekrümmt sind; kräftige Rollen, auf ebenfalls gekrümmter Bahn laufend, bilden die Unterlage der Träger. Zur Hin- und Herbewegung des Herdes dient der in

[1]) Nach einer vom Erfinder dem Verfasser überlassenen Zeichnung; auch Transactions of the American Institute of Mining Engineers Bd. 22, Seite 335, sowie „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 1028.

Abb. 56 sichtbare Wasserdruckzylinder. Seine Kolbenstange treibt ein links vom Zylinder erkennbares Querhaupt, von welchem aus zwei Leitstangen die Bewegung auf die mittleren der vier Träger übertragen. Damit der Herd bei der Bewegung nicht Beschädigung erleide, ist er stark verankert und an den beiden Stirnseiten durch Stahlgufsplatten geschützt; auch die Stirnflächen der feststehenden Ofenköpfe sind mit Stahlgufsplatten mit eingegossenen Kühlrohren versehen. Die Einrichtung dieses Ofens erfüllt nicht nur den oben erläuterten Zweck aller Öfen mit beweglichem Herde, sondern ermöglicht auch nach Beendigung der Arbeit eine bequeme Entleerung; man kippt den Ofen und läfst die auf dem Herde befindlichen flüssigen Körper durch die an der rechten Seite (Abb. 56) befindliche Öffnung auslaufen, welche während der Erhitzung durch einen eingesetzten Stein verschlossen gehalten werden kann.

Der Ofen ist auf amerikanischen Werken für das in der dritten Abteilung besprochene Martinverfahren in Anwendung[1]).

Wenn bei der Benutzung von Flammöfen mit beweglichem Herde Arbeit und bisweilen auch Brennstoff erspart werden kann, so steht diesem Vorteile doch der Nachteil gegenüber, dafs die Anlage- und Unterhaltungskosten dieser Öfen erheblich höher sind als der Öfen mit festem Herde, und dafs auch die für die Bewegung des Herdes erforderliche mechanische Arbeit nicht ohne Kosten erzeugt werden kann. Diese Nachteile wiegen in den meisten Fällen schwerer als die erreichbaren Vorteile, und hieraus erklärt es sich zur Genüge, dafs die Öfen mit beweglichem Herde weit seltener in Anwendung kommen als die mit feststehendem. Nicht selten hat man erstere, wo sie bereits eingeführt waren, wieder beseitigt und durch Öfen mit festem Herde ersetzt.

Wirkungsgrad der Flammöfen.

Bei den mannigfachen Formen und Verwendungen des Flammofens ist sein Wirkungsgrad ziemlich verschieden. Er ist günstiger, wenn ein Teil der Abhitze wieder in den Ofen zurückgeführt wird (Siemensöfen), als wenn sie, wie bei den Öfen mit Rostfeuerung und den einfacheren Öfen mit Gasfeuerung, für den eigentlichen Zweck des Ofens verloren geht; er ist ferner günstiger, wenn der zu erhitzende Körper auf eine grofse Fläche ausgebreitet, als wenn er in einen kleinen Raum zusammengedrängt oder gar in einen Tiegel eingeschlossen ist.

Auch die am günstigsten arbeitenden Flammöfen besitzen indessen einen niedrigeren Wirkungsgrad als Schachtöfen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung der wärmeabgebenden und der zu erhitzenden Körper. Der Grund hierfür liegt teils in dem Umstande, dafs die wärmeabgebende Aufsenfläche der Flammöfen im Verhältnisse zu ihrem nutzbaren Rauminhalte, d. h. zu der Menge der in gewissen Zeiträumen zu verarbeitenden Körper, beträchtlich

[1]) Über eine andere Form amerikanischer Schaukelöfen (Wellmanöfen) vergl. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 799; 1899, Seite 538.

ist, hauptsächlich aber in dem Wegfalle jener für den Schachtofen so bedeutungsvollen Bewegung der zu erhitzenden Körper dem heifsen Gasstrome entgegen, welche eine allmähliche Erhitzung durch die Abhitze und dadurch eine sehr günstige Ausnutzung der Wärme ermöglicht.

Bei Herdflammöfen mit Rostfeuerung und unmittelbarer Erhitzung pflegt der Wirkungsgrad 0,08—0,10 zu betragen; bei Gasfeuerung mit Zurückführung der Abhitze durch die Verbrennungsluft und durch die Gase (Siemensöfen) steigt der Wirkungsgrad auf 0,14—0,18; bei Anwendung von Tiegeln sinkt er — selbst in Siemensöfen — auf 0,03—0,04. Dafs bei den Öfen mit Rostfeuerung die Abhitze noch für andere Zwecke verwendbar bleibt, und dafs hierdurch der Nachteil des ungünstigeren Wirkungsgrades zum grofsen Teile ausgeglichen werden kann, wurde früher erwähnt. Man rechnet, dafs durch die Abhitze eines mit Steinkohlen geheizten Flammofens für je 1 kg der auf dem Roste verbrannten Kohlen im Mittel noch 1,25 kg Dampf erzeugt werden kann, also etwa ein Fünftel der Dampfmenge, welche 1 kg Steinkohle bei unmittelbarer Verbrennung unter dem Dampfkessel zu liefern vermag.

3. Das Ofenmauerwerk.

In dem Vorstehenden war im wesentlichen nur von der Gestalt und der Verwendung des inneren Raumes der Öfen, welcher zur Wärmeerzeugung und Wärmeabgabe bestimmt ist, die Rede. Dieser innere Raum ist von einem Ofenkörper eingeschlossen, welcher vollständig oder zum gröfsten Teil aus Mauerwerk besteht, und dessen Herstellung alle Aufmerksamkeit des Erbauers erfordert, wenn der Ofen seine Bestimmung erfüllen soll. Denn jenes Ofenmauerwerk mufs widerstandsfähig genug sein, um nicht durch die oft recht beträchtlichen physikalischen und chemischen Einflüsse, welchen es ausgesetzt ist (Ausdehnung durch die Wärme und Zusammenziehung beim Erkalten, Wegschmelzen), zerstört oder unbrauchbar gemacht zu werden; seine Einrichtung darf aber auch, um als zweckmäfsig gelten zu können, nicht zu schwerfällig und kostspielig sein, und Wärmeverluste sollen tunlichst vermieden werden.

Um ein rasches Wegschmelzen der einer starken Erhitzung preisgegebenen Ofenteile zu verhüten, verwendet man zur Herstellung des Ofeninnern in den Fällen, wo dunkle Rotglut überschritten wird, sogenannte feuerfeste Baustoffe, von deren Beschaffenheit unten ausführlicher die Rede sein wird. Da es aber keinen als Baustoff sich eignenden Körper gibt, welcher in den hohen Temperaturen und unter den chemischen Einflüssen, welche in den Öfen des Eisenhüttenbetriebes häufig sich geltendmachen, durchaus feuerfest, unschmelzbar wäre, kühlt man vielfach die der Erhitzung vorzugsweise ausgesetzten Stellen, sei es durch äufsere Berieselung mit Wasser, sei es, indem man in die Ofenwand Hohlstücke aus Eisen oder Bronze einlegt, durch welche ununterbrochen kaltes Wasser hindurchfliefst. Letzteres Verfahren ist gefahrlos, sobald man Sorge trägt, dafs das Kühlstück vollständig mit Wasser

gefüllt bleibt und dessen Temperatur nicht über 50—60° C. steigt. Man erreicht den Zweck, indem man das Kühlwasser von einem hoch gelegenen Behälter den Kühlstücken durch Rohrleitungen zuführt, welche mit Hähnen versehen sind; wo es angeht, läfst man das Kühlwasser an der tiefsten Stelle des Kühlstückes ein- und an der höchsten austreten, um sicher zu sein, dafs der ganze innere Raum mit unausgesetzt erneuertem Wasser gefüllt bleibt. Unleugbar ist mit einer solchen Kühlung ein Wärmeverlust verknüpft, dessen Höhe sich aus der Temperaturzunahme und Menge des verbrauchten Kühlwassers berechnen läfst; dieser Nachteil ist aber verschwindend klein gegen die durch die Kühlung erreichte gröfsere Haltbarkeit vieler Öfen, und zahlreiche Erfahrungen beweisen, dafs auch eine sehr weit getriebene Kühlung eines Ofens selten imstande ist, eine merkliche Beeinträchtigung der Wärmeausnutzung (des Wirkungsgrades des Ofens) herbeizuführen.

Statt des Wassers bedient man sich bisweilen der Luft als Kühlungsmittel, wenn eine weniger starke Kühlung erforderlich ist, und man benutzt in solchen Fällen die hierbei erhitzte Luft mitunter als Verbrennungsluft bei der Heizung des Ofens. In dieser Weise kühlt man den Herdboden und die Seitenwände mancher Flammöfen (z. B. der oben beschriebenen Bicherouxöfen), die Wände der Gaserzeuger (Boëtiusofen, Seite 172). Da jedoch das spezifische Gewicht der Luft nur $^1/_{770}$ von dem des Wassers und ihre spezifische Wärme nur $= 0,_{237}$ ist, vermag die gleiche Raummenge Luft auch nur eine bedeutend geringere kühlende Wirkung als Wasser zu üben, und ein sehr rascher Luftwechsel ist nötig, wenn überhaupt eine Wirkung erreicht werden soll.

Von Wichtigkeit ist die Bemessung der richtigen Wandstärke eines Ofens. Es kommen hierbei vornehmlich zwei Aufgaben in Betracht: erstens die Erzielung einer ausreichenden Haltbarkeit des Ofens und zweitens die Vermeidung von Wärmeverlusten durch Wärmeabgabe nach aufsen bei zu dünnen Wänden.

Bis vor nicht sehr langer Zeit legte man auf das zuletzt genannte Ziel den gröfseren Wert, und man gab deshalb Öfen, in denen eine hohe Temperatur entwickelt werden mufs, weit stärkere Wände als zur Erzielung einer ausreichenden Haltbarkeit notwendig gewesen sein würde. Dadurch wurde der Ofen schwerfällig und kostspielig, und seine Haltbarkeit war bisweilen sogar geringer, als wenn man ihn mit weniger starken Wänden umgab. Um diese Tatsache zu verstehen, möge man sich vergegenwärtigen, dafs ein dickes Mauerwerk bei einseitiger Erhitzung und Abkühlung leichter Risse bekommt als ein dünneres, welches gleichmäfsiger erwärmt wird und leichter der stattfindenden Ausdehnung und Zusammenziehung nachgibt; ferner, dafs Ofenteile, die von dicken, schlecht wärmeleitenden Wänden umgeben und einer hohen Temperatur ausgesetzt sind, auch selbst stärker hierbei erhitzt werden und daher dem Wegschmelzen eher unterworfen sind, als wenn die Wände dünner sind und dabei unter dem Einflusse der umgebenden, stetig wechselnden Luft auch kühler als jene gehalten werden.

Aufserdem lehrte aber allmählich die Erfahrung, dafs jene Ersparung an Wärme im Ofen, die man früher bei der Anwendung

dicker Wände als selbstverständlich betrachtete, bei weitem nicht so bedeutend ist, als man im ersten Augenblicke anzunehmen geneigt sein kann; ja, es zeigte sich nicht selten, daſs ein Ofen mit dünneren Wänden zur Durchführung desselben Verfahrens nicht mehr Brennstoff erforderte als ein anderer mit dicken Wänden. Denn das Ofeninnere ist zum gröſsten Teil mit schlechten Wärmeleitern angefüllt. Durch das Innere des Flammofens hindurch ziehen die Gase; das Innere eines Schachtofens enthält neben den aufsteigenden Gasen die festen Brennstoffe, neben welchen die zu erhitzenden Körper gewöhnlich einen nicht bedeutenden Raum einnehmen; wenn Erze erhitzt werden, so sind auch diese schlechte Wärmeleiter. Die von auſsen her stattfindende Abkühlung würde demnach, wenn jene Körper in Ruhe sich befänden, nur langsam nach dem Innern vorschreiten können. Ein Zustand der Ruhe aber findet niemals statt. Unausgesetzt wechselt der Gasstrom in jedem Ofen; stetig rücken in einem Schachtofen die festen Körper nach unten, um hier verbrannt oder im erhitzten Zustande aus dem Ofen entfernt zu werden. Die von auſsen her stattfindende Abkühlung kann deshalb nur in geringer Entfernung von den Wänden sich bemerkbar machen und läſst den bei weitem gröſsten Teil des Ofenquerschnitts unbeeinfluſst. An den Wänden entsteht eine schmale Übergangszone, innerhalb welcher die Temperatur rasch von auſsen nach innen steigt. So erklärt es sich unschwer, daſs man imstande ist, in einem vollständig aus Eisenblech ohne irgendeinen Einsatz aus schlechteren Wärmeleitern (feuerfesten Steinen) hergestellten Ofen, welcher ringsum von Wasser gekühlt ist, Eisen zu schmelzen und auf Weiſsglut zu erhitzen, ohne daſs der Brennstoffverbrauch übermäſsig groſs ist und ohne daſs der Eisenblechmantel Schaden leidet[1]).

Auf Grund dieser Erfahrungen nimmt man mit vollem Rechte bei neueren Öfen nicht die Verhinderung von Wärmeverlusten, sondern die Haltbarkeit des Ofens als Ausgangspunkt für die Bemessung der Wandstärken, und man erhält dabei leichtere und in der Anlage billigere Öfen als in früherer Zeit.

Um das Ofengemäuer vor dem Reiſsen zu schützen, versieht man häufig die Öfen mit einer eisernen Rüstung, welche nach Maſsgabe der äuſsern Form des Ofens verschieden eingerichtet ist. Für Schachtöfen mit kreisförmigen Querschnitten benutzt man bisweilen einen aus Eisenblech zusammengenieteten Mantel, oder man begnügt sich mit ringförmigen, um den Ofen herum gelegten eisernen Bändern. Herdflammöfen umgibt man mit senkrecht stehenden, guſseisernen oder aus starken Blechen bestehenden Platten, welche durch schmiedeeiserne, oberhalb oder unterhalb des Gemäuers hindurchgehende Queranker zusammengehalten werden und zugleich für den Schub der gewölbten Decke den nötigen Widerstand bilden. Wegen der leichteren Anbringung dieser Platten gibt man solchen Öfen äuſserlich rechteckigen Grundriſs.

Wenn jedoch ein Ofen einer sehr starken Erhitzung ausgesetzt werden muſs und seine Abmessungen einigermaſsen beträchtlich

---

[1]) Beispiel hierfür: Berg- und hüttenm. Zeitung 1878, Seite 149.

sind, so würde das sich stärker ausdehnende Ofengemäuer die eiserne Rüstung und Verankerung zersprengen oder selbst Beschädigung erleiden, wenn man nicht bei Anbringung der Rüstung hierauf Bedacht nimmt. Umgibt man daher Schachtöfen mit einem Eisenblechmantel, so muſs zwischen diesem und dem Mauerwerk ein für die Ausdehnung des letztern ausreichender Zwischenraum bleiben, dessen Abmessung mit dem Durchmesser des Ofens und

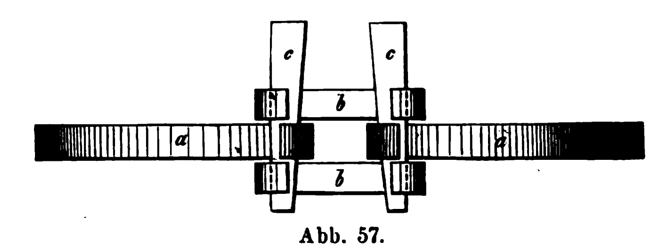


Abb. 57.

der beabsichtigten Erhitzung im Einklange stehen muſs und bei gröſseren Öfen dieser Art (z. B. bei den in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde beschriebenen steinernen Winderhitzern) 50 mm betragen kann. Umgibt man den Schachtofen nur mit umgelegten Eisenbändern, so muſs Sorge getragen werden, daſs diese nach dem Anheizen des Ofens bei der stattfindenden Vergröſserung des Ofendurchmessers erweitert werden können, oder daſs man sie,

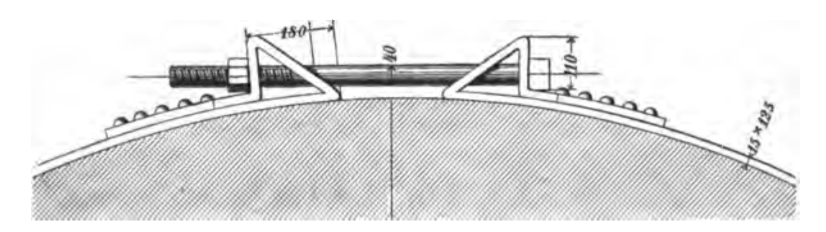


Abb. 58.

wenn sie im Anfange nur lose umgelegt waren, nachziehen kann, wenn der Ofen seine volle Temperatur erreicht hat. Die Aufgabe läſst sich unschwer in verschiedener Weise lösen. Bei der in Abb. 57 dargestellten Verankerung dient ein Keilverschluſs für diesen Zweck. *aa* ist das um den Schacht gelegte Eisenband, dessen Enden nach vorn umgebogen sind, *bb* sind zwei Eisenschienen, ebenfalls mit umgebogenen Enden, *cc* sind eiserne Keile, durch deren Anziehen oder Lösen der Durchmesser des Reifens, wie leicht ersichtlich ist, verkleinert und vergröſsert werden kann.

Eine Verbindung durch eine Schraube zu dem gleichen Zwecke ist in Abb. 58 zur Anschauung gebracht, ohne besonderer Erklärung zu bedürfen. Wenn der Durchmesser des Ofens sehr beträchtlich ist (z. B. der Hochöfen), läſst man das Eisenband (den Reifen) aus zwei oder noch mehr Stücken bestehen, welche sämtlich in dieser

Weise verbunden sind, da jede einzelne Verbindungsstelle nur ein beschränktes Mafs der Verstellung ermöglicht.

Zu demselben Zwecke schaltet man bei stark zu erhitzenden Flammöfen von gröfseren Abmessungen, die mit einer Rüstung von Eisenplatten umgeben und durch Queranker zusammengehalten sind, zwischen den Köpfen der Anker und jenen Platten federnde

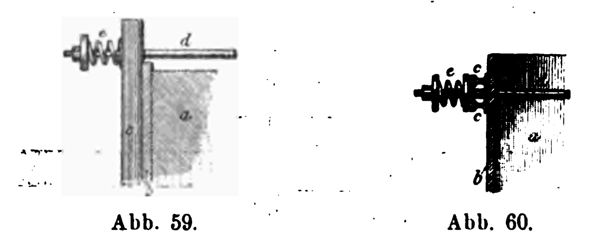


Abb. 59. Abb. 60.

Zwischenstücke ein, welche dem Ganzen eine gewisse Beweglichkeit sichern und das Abreifsen der Anker verhindern (z. B. bei den in der dritten Abteilung beschriebenen Martinöfen). In Abb. 59 und 60 ist eine solche Verankerung im Auf- und Grundrisse dargestellt. *a* ist das Ofengemäuer mit den als Rüstung dienenden eisernen Platten *b*. *cc* sind Schienen (häufig alte Eisenbahnschienen) zum Festhalten der Platten, *d* der schmiedeeiserne Anker, über welchen die aus Stahl gefertigte Feder *e* geschoben ist.

Wenn die Ausdehnung des Ofens weniger bedeutend ist (bei kleineren Abmessungen und weniger starker Erhitzung), begnügt man sich, die Muttern der Ankerschrauben nachzuziehen, ohne Federn einzuschalten, oder man bedient sich statt der Schraubenmutter eines durch einen Schlitz des Ankers hindurchgesteckten Keils, welcher ebenfalls ein Nachziehen gestattet.

4. Die feuerfesten Baustoffe.

Als feuerfeste Baustoffe bezeichnet man die zum Ofenbau benutzten Körper, wenn sie fähig sind, den in den Öfen für gewerbliche Zwecke entwickelten Temperaturen und den hierbei zur Geltung gelangenden physikalischen und chemischen Vorgängen längere Zeit hindurch zu widerstehen. Aufser der einfachen Schmelzung spielen hierbei die Ausdehnung und Zusammenziehung bei wechselnder Temperatur und die Gelegenheit mit anderen hocherhitzten Körpern leichter schmelzbare Verbindungen einzugehen, eine Rolle.

Hieraus folgt, dafs der Begriff der Feuerfestigkeit nicht scharf umgrenzt, sondern von den Eigentümlichkeiten des Verfahrens abhängig ist, bei dessen Durchführung die feuerfesten Stoffe benutzt werden sollen. Ein Körper, der in dem einen Falle ausreichend haltbar ist, kann in einem anderen Falle unbrauchbar sein, wenn entweder die Temperatur höher ist oder wenn andere chemische Einflüsse sich geltendmachen. Ein an und für sich fast unschmelzbarer Körper kann ziemlich leicht schmelzbar werden, wenn er in Berührung mit anderen Körpern — beispielsweise Asche oder

Schlacke von bestimmter Zusammensetzung — gebracht wird. Es folgt hieraus, dafs die Wahl des feuerfesten Baustoffs ebensowohl von der Temperatur, der er ausgesetzt werden soll, als von den während der Erhitzung herrschenden chemischen Einflüssen abhängen mufs.

Selten oder nie sind jedoch die als feuerfeste Baustoffe benutzten Körper ganz rein; sie enthalten zufällige Nebenbestandteile, welche ebenso wie die äufsere Berührung mit anderen Körpern ihre Feuerbeständigkeit abmindern können. Alkalien, Eisen- und Manganoxydul sind häufig vorkommende Fremdkörper, welche die Schmelztemperatur eines Ofenbaustoffs in einem Mafse erniedrigen können, dafs er nicht mehr als feuerfest gelten kann. Ein im reinen Zustande fast unschmelzbares Tonerdesilikat kann schmelzbar werden, wenn es Eisenoxydul, Alkalien, Kalk, Magnesia oder auch gröfsere Mengen Kieselsäure (als beigemengten Sand) enthält; Kalk und Magnesia, zwei an und für sich unschmelzbare Körper, werden durch einen gröfseren Gehalt an Kieselsäure oder Eisenoxyd schmelzbar. Je gröfser die Zahl der nebeneinander anwesenden Fremdkörper ist, desto stärker ist ihr Einflufs.

Die feuerfesten Baustoffe kommen entweder als Gesteine in der Natur vor, die, um verwendbar zu sein, einer äufseren Bearbeitung (Formgebung) bedürfen, oder sie werden künstlich aus den natürlich vorkommenden Rohstoffen dargestellt. Letzteres Verfahren ist in der jetzigen Zeit häufiger, weil man dabei sowohl die chemische Zusammensetzung des Stoffs als seine äufsere Form der ins Auge gefafsten Verwendung besser anpassen kann.

Ihrer chemischen Zusammensetzung gemäfs lassen sich die wichtigeren feuerfesten Baustoffe in nachstehend aufgeführte Gruppen sondern.

A. Feuerfeste Baustoffe mit Kieselsäure als Grundbestandteil.

Reine Kieselsäure nur in sehr hoher Temperatur schmelzbar[1]), und Gesteine oder künstlich dargestellte Baustoffe, welche Kieselsäure als Grundbestandteil enthalten, sind bei manchen Verwendungen die widerstandsfähigsten. Der Fall liegt besonders dann vor, wenn einfache Erhitzung ohne äufsere chemische Einwirkungen stattfindet (z. B. bei der nur von dem Flammenstrome berührten Decke von Flammöfen, den am stärksten erhitzten Stellen von Wärmespeichern bei Siemensfeuerungen).

Nicht brauchbar sind diese Körper, wenn sie in hoher Temperatur mit Alkalien oder alkalischen Erden, Eisen- oder Manganoxyden, oder Schlacken, welche reich an diesen Körpern sind, in Berührung treten, oder auch, wenn sie raschen Temperaturwechseln unterworfen sind, unter deren Einflusse sie leicht zerspringen.

Als feuerfeste Gesteine dieser Gruppe verdienen Erwähnung:

---

[1]) Nach Versuchen Hempels erweicht Quarz bei 1670° C. (Zeitschr. f. Elektrochemie 1903, Seite 851), und nach Roberts Austens Versuchen liegt die Schmelztemperatur bei 1775° C. (J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen, Bd. II, Seite 5).

Quadersandstein, aus Quarzkörnchen mit tonigem Bindemittel bestehend. Er dient mitunter als Baustoff für Holzkohlenhochöfen und andere Zwecke, wo der Stein nicht mit einer basischen Schlacke in Berührung kommt. Zu vermeiden sind Steine mit eisenschüssigen, durch ihre braune Farbe kenntlichen Stellen. Beim Einbauen der Steine ist Rücksicht darauf zu nehmen, daſs die Lagerungsflächen (Spaltungsflächen) rechtwinklig gegen das Ofeninnere gerichtet sind, weil sonst leicht ein Abspalten der Stücke beim Erhitzen eintritt.

Puddingstein, Feuersteinknollen, welche durch feuersteinoder hornsteinartiges Bindemittel verkittet sind. Er kommt vorwiegend in England und Belgien vor und wird dort als feuerfester Baustoff benutzt.

Kieselschiefer, ein schiefriges, im wesentlichen aus Quarzkörnern bestehendes Gestein von weiſsgrauer Farbe. Ein als Ofenbaustoff besonders geschätztes Vorkommnis wird in der Gegend von Brieg in Schlesien gefunden und nicht selten für den Bau von Flammöfen, insbesondere der Decke, verwendet.

Granit mit etwa 72 v. H. Kieselsäure, 16 v. H. Tonerde, daneben Eisen, Kalkerde, Magnesia und Alkalien enthaltend, ist mitunter, wenn auch selten, als feuerfester Baustoff benutzt worden, insbesondere in Fällen, wo nicht gerade die höchsten Temperaturen erzeugt wurden.

Ganister, ein bei Sheffield unter den Steinkohlenschichten, sowie in der Gegend zwischen Bonn und Koblenz vorkommendes Gestein mit 1—7 v. H. Tonerde und Eisenoxyd, übrigens aus feinen Quarzkörnern bestehend, wird als Stoff zum Auskleiden der Bessemerbirnen benutzt. Man zerkleint ihn für diesen Zweck, vermengt ihn mit wenig Ton als Bindemittel, feuchtet mit Wasser an und verarbeitet die solcherart gewonnene Masse durch Einstampfen.

Dinasziegel nennt man künstlich dargestellte, im wesentlichen aus Quarzkörnern bestehende feuerfeste Steine. Ihren Namen verdanken sie dem Umstande, daſs man ursprünglich für ihre Herstellung Gestein von dem aus Quarz bestehenden Dinasfelsen im Tale von Neath in Glamorganshire benutzte. Im übrigen verwendet man Quarz von verschiedenen Fundorten, sofern er ausreichend rein ist, für den gleichen Zweck. Das Gestein wird gemahlen, mit etwas feuerfestem Ton als Bindemittel vermischt, zu Steinen geformt und in Weiſsglut gebrannt. Wie alle künstlich dargestellten feuerfesten Baustoffe besitzen die Dinassteine vor den natürlich vorkommenden, aus Kieselsäure bestehenden Gesteinen den Vorteil, daſs man bei ihrer Bereitung schädlich wirkende Fremdkörper leichter fernhalten kann. Sie bilden den vorzüglichsten Baustoff in jenen erwähnten Fällen, wo eine sehr starke Erhitzung ohne äuſsere chemische Einwirkungen durch andere Körper stattfindet. Empfindlicher noch als manche natürlich vorkommende Gesteine sind jedoch die Dinasziegeln gegen raschen Temperaturwechsel; sie zerspringen hierbei leicht in Stücke und müssen deshalb nach Möglichkeit davor geschützt werden. Beim Erhitzen pflegen sie trotz des vorausgegangenen Brennens eine mehr oder minder starke

bleibende Ausdehnung zu erfahren, worauf beim Einbau Rücksicht zu nehmen ist.

Der Kieselsäuregehalt der Dinasziegeln beträgt gewöhnlich 90—96 v. H. ihres Gewichts.

B. Feuerfeste Baustoffe mit tonigem Grundbestandteil.

Reine Tonerde (Al_2O_3) ist zwar in unseren Öfen fast unschmelzbar, kommt aber in der Natur zu selten vor[1]), um als feuerfester Baustoff Verwendung finden zu können. Sehr häufig dagegen werden die von der Natur in reichen Mengen gelieferten Silikate der Tonerde zu feuerfesten Baustoffen verarbeitet. Den chemischen Einflüssen basischer Körper gegenüber sind die tonigen feuerfesten Baustoffe widerstandsfähiger als die aus Kieselsäure bestehenden, und durch Kieselsäure oder kieselsäurereiche Körper (Schlacken) werden sie weniger als die unten besprochenen basischen feuerfesten Baustoffe angegriffen. Dem Zerspringen bei plötzlichem Temperaturwechsel sind sie, zumal bei entsprechender Zubereitung, weniger leicht als quarzige Gesteine und Dinasziegeln unterworfen. Diese Vorzüge machen es erklärlich, dafs unter allen feuerfesten Baustoffen diese am häufigsten Benutzung finden. Schwieriger aber als bei Bereitung der Dinasziegeln ist es, einen von schädlich wirkenden Fremdkörpern ausreichend freien Rohstoff zu erlangen, und daher gibt man jenen in solchen Fällen den Vorzug, wo es sich lediglich um Widerstandsfähigkeit in sehr hohen Temperaturen handelt, ohne dafs äufsere chemische Einwirkungen dabei zur Geltung gelangen können.

Zu den Baustoffen dieser Gruppe gehören vornehmlich:

Bauxitziegel, aus dem Bauxit, einem vorwiegend in Frankreich[2]) vorkommenden Mineral gefertigt, welches als Grundbestandteil Tonerdehydrat, daneben aber stets mehr oder minder reiche Mengen von Fremdkörpern enthält, so dafs seine Zusammensetzung 50—80 v. H. Tonerde, 1—12 v. H. Kieselsäure, 1—5 v. H. Eisenoxyd (in weniger feuerbeständigem Bauxit ist der Eisenoxydgehalt oft erheblich höher), 12—15 v. H. Wasser aufzuweisen pflegt. Man brennt den Bauxit, mischt ihn mit Wasser und etwas frischem feuerfesten Ton, formt Ziegel daraus und brennt sie. In einzelnen Fällen sind diese Bauxitziegel mit Vorteil benutzt worden; eine sehr häufige Anwendung ist schon durch das beschränkte Vorkommen ausgeschlossen. Als ein Nachteil wird auch ihre Neigung, in hohen Temperaturen stark zu schwinden, bezeichnet.

Feuerfester Ton und die daraus bereiteten Ofenbaustoffe (Schamott, feuerfeste Masse). Reiner Ton ist ein wasserhaltiges Tonerdesilikat, dessen Zusammensetzung der chemischen Formel: $Al_2O_3, 2\,SiO_2 + 2\,H_2O$, entspricht und welches demnach

[1]) Verschiedene Edelsteine: Korund, Saphir, Rubin bestehen aus kristallisierter Tonerde mit geringen, färbend wirkenden Beimengungen. Der Schmelzpunkt des Korunds wird zu 1865° C. angegeben (J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen, Bd. II, Seite 5).

[2]) Der Name stammt von dem Fundorte Baux bei Arles.

Tonerde 39,77 v. H.
Kieselsäure 46,33 „ „
Wasser 13,90 „ „

enthält. Beim Brennen verliert er seinen Wassergehalt, und auch in den höchsten Temperaturen zeigt er nur Sinterung. Gebrannter, wasserfreier Ton würde demnach im reinen Zustande etwa 46 v. H. Tonerde und 54 v. H. Kieselsäure enthalten. Aller in der Natur vorkommende Ton enthält jedoch eingemengte Fremdkörper, insbesondere Sand (gröfstenteils Quarzkörnchen), ferner Eisenoxyd, Alkalien und alkalische Erden, welche seine Feuerbeständigkeit beeinträchtigen[1]). Der reinste Ton ist das zur Porzellandarstellung benutzte Kaolin[2]).

Nach Analysen von Bischof enthielten z. B.:

	Tonerde	Kieselsäure gebunden	Sand	Erden, Alkalien, Eisenoxyd	Glühverlust
Sehr strengflüssiger Ton von Saarau	36,30	38,94	4,90	1,26	17,78
Böhmischer feuerfester Ton	38,54	40,53	5,15	2,04	13,00
Mäfsig feuerfester Ton aus der Pfalz	35,05	39,05	8,01	6,75	10,51
Weniger feuerfester Ton aus dem Siegenschen	28,05	30,71	27,61	4,75	8,66

Der sandreichste Ton unter diesen ist der am wenigsten feuerbeständige. Bei der chemischen Untersuchung eines Tons zum Zwecke der Beurteilung seiner Brauchbarkeit mufs daher die an Tonerde gebundene Kieselsäure getrennt von der als Sand beigemengten bestimmt werden.

Alle Tone sind im angefeuchteten Zustande bildsam, und die aus ihnen geformten Gegenstände erhärten, wenn sie getrocknet und gebrannt werden. Gut bildsame Tone nennt man f e t t e, die mit Fremdkörpern reichlicher vermischten und deshalb weniger bildsamen m a g e r e Tone. Bei dem Trocknen und Brennen aber zieht sich der Ton, insbesondere der feuerfeste Ton, zusammen, während er seinen Wassergehalt entläfst, er s c h w i n d e t, und die Folge davon ist die Entstehung von Rissen.

Gebrannter Ton hat, auch wenn er aufs neue mit Wasser angefeuchtet oder eingeweicht wird, wegen des Verlustes seines chemisch gebundenen Wassergehalts seine Bildsamkeit eingebüfst und schwindet nicht mehr, wenn er abermals gebrannt wird.

Jene Eigenschaft des Schwindens und Reifsens beim Trocknen und Brennen würde die Verwendung des Tons zur Herstellung feuerfester Körper erheblich erschweren; man führt sie auf ein ge-

[1]) Ton, welcher zur Anfertigung der gewöhnlichen (nicht feuerfesten) Ziegel benutzt wird, ist so reich an jenen Fremdkörpern, dafs schon in heller Rotglut Sinterung oder gar Schmelzung einzutreten pflegt.

[2]) Meissener besonders hergestelltes Porzellan erweicht nach Versuchen H e m p e l s erst bei 1850° (Zeitschr. f. Elektrochemie 1903, S. 851).

ringeres Mafs zurück, indem man ihn mit anderen Körpern in Körnerform vermengt, welche selbst nicht schwinden, in Berührung mit dem Tone unschmelzbar sind und, da sie die Bildsamkeit des Tons abmindern, Magerungsmittel genannt werden.

Die Wirkung dieser Magerungsmittel ist einfach. Da innerhalb desselben Raumes um so geringere Mengen des schwindenden Körpers, des Tons, zugegen sind, je mehr Magerungsmittel man zugesetzt hatte, mufs auch die Schwindung entsprechend kleiner ausfallen. Zwischen den eingemengten Körnchen und dem sie umschliefsenden Tone aber entsteht bei dem Schwinden des letzteren ein kleiner Zwischenraum; auf diese Weise erhält das Ganze eine gewisse Durchlässigkeit, durch welche das Entweichen der sich bildenden Wasserdämpfe erleichtert wird und welche zugleich die Sprödigkeit des gebrannten Tonkörpers abmindert. Dieser erträgt deshalb auch leichter Temperaturveränderungen ohne zu reifsen. Die Menge dieser Zusätze mufs sich nach der Beschaffenheit des benutzten Tons richten und kann um so gröfser sein, je fetter dieser ist. Nicht selten kann man dem Tone mehr als die doppelte Menge Magerungsmittel zusetzen.

Das wichtigste dieser Magerungsmittel ist schon gebrannter feuerfester Ton, Schamott genannt. Da dieser selbst nicht mehr schwindet, erfüllt er in vorzüglicher Weise seine Aufgabe. Man vermengt ihn mit nur so viel frischem Tone, dafs das Gemenge im angefeuchteten Zustande bildsam genug ist, um sich formen zu lassen. Wird dieser so zubereitete Ton zu Ziegeln geformt, welche vor der Benutzung in hoher Temperatur gebrannt werden, so nennt man diese Schamottziegel[1]); benutzt man aber das noch feuchte, bildsame Gemenge, um ohne weiteres das Ofeninnere durch Einstampfen damit auszukleiden, oder (in der Giefserei) Gufsformen daraus zu fertigen und dann erst die ihrer Form nach fertigen Teile zu trocknen und zu brennen, so nennt man es Masse.

Wie die durch Brennen frischen Tons bereitete Schamott lassen sich benutzte Schamottziegel oder Masse wieder als Magerungsmittel verwenden, indem man sie zerkleint und aufs neue mit frischem feuerfesten Tone mischt.

An Stelle des gebrannten Tons benutzt man mitunter reinen Quarz, zu etwa erbsengrofsen Stücken zerkleint, als magernden Zusatz bei der Bereitung der feuerfesten Tonziegel oder der Masse. Zwar erniedrigt Quarzsand in feiner Verteilung, wie oben erwähnt wurde, die Feuerbeständigkeit des Tons; je gröber aber die einzelnen Stücke sind und je weniger Oberfläche sie dem Tone demnach darbieten, desto geringer ist das Mafs dieses Einflusses.

Je nachdem man eigentliche Schamott oder Quarz als Magerungsmittel zusetzte, und je nachdem man reineren oder weniger reinen Ton als Grundbestandteil benutzte, ist die Zusammensetzung der fertigen Tonziegel (oder Masse) ziemlich verschieden. Der Tonerdegehalt schwankt zwischen 24 und 44 v. H., der Kieselsäuregehalt zwischen 55—74 v. H., der Gehalt an Fremdkörpern zwischen

[1]) Im weiteren Sinne nennt man alle aus feuerfestem Ton unter Zusatz von Magerungsmitteln bereiteten Ziegel Schamottziegel.

2—4 v. H. Die an Tonerde reichsten werden in der Regel als die feuerbeständigsten betrachtet, doch spricht hierbei, wie erwähnt, die besondere Art der Beanspruchung mit.

Für einzelne Zwecke gibt man dem feuerfesten Tone auch kohlenstoffhaltige Körper: Graphit, Koks- oder Holzkohlenstückchen, als magernden Zusatz. Ihre völlige Unschmelzbarkeit macht sie zu einem in vielen Fällen sehr geeigneten Magerungsmittel. Am häufigsten wird, insbesondere für Anfertigung von feuerfesten Tiegeln, Graphit benutzt; die eigentlichen Graphittiegel bestehen oft zu zwei Drittel ihres Gewichts aus Graphit mit einem Drittel Ton.

Bei der Auswahl des Graphits mufs Sorge getragen werden, dafs er nicht selbst Körper enthalte, welcher unter sich oder mit dem Tone leicht schmelzbare Verbindungen bilden: Alkalien, Erden, Eisenoxyd u. a. m.

Berühmt und für Schmelztiegelanfertigung geschätzt sind die Graphite von Passau in Bayern, Ceylon, Sibirien.

Einige Graphite werden durch Schlämmen, andere durch Glühen für sich allein oder mit Alkalien und späteres Behandeln mit Säuren von ihren schädlichen Beimengungen befreit. Die Beschaffenheit des Graphits selbst kann nur darüber entscheiden, welcher Weg für die Reinigung der geeignetste sei. Einiges Nähere über die Zusammensetzung der Graphittiegel wird in der dritten Abteilung dieses Buchs bei Besprechung der Tiegelstahlerzeugung mitgeteilt werden.

C. Basische feuerfeste Baustoffe.

Sie werden vornehmlich dann benutzt, wenn bei irgendeinem Verfahren basische Schlacken gebildet werden müssen. In Berührung mit kieselsäure- oder tonreichen Körpern würden die Schlacken von diesen um so mehr auflösen, je höher die Temperatur ist, und sie würden dadurch ihre basische Beschaffenheit verlieren.

In einzelnen Fällen benutzt man Eisenoxyde — Erze, Hammerschlag oder eisenreiche Schlacken — als Stoff zum Auskleiden der Öfen. Die Veranlassung dafür ist vornehmlich dann gegeben, wenn eisenreiche Schlacken bei der Durchführung eines Verfahrens zugesetzt oder gebildet werden müssen, deren Eisengehalt durch die Aufnahme der Bestandteile anderer feuerfester Baustoffe erniedrigt werden würde. Immerhin ist die Feuerbeständigkeit der Eisenoxyde beschränkt, und für Verfahren, welche einer sehr hohen Temperatur bedürfen, sind sie nicht geeignet[1]).

Widerstandsfähiger als Eisenoxyd ist Chromeisenerz, sofern es nicht schädlich wirkende Körper in gröfseren Mengen enthält. Es besteht der Hauptsache nach aus Eisenoxydul und Chromoxyd, jedoch ist ein Teil des Eisenoxyduls durch Magnesia, des Chromoxyds durch Tonerde ersetzt, neben welcher auch Eisenoxyd (Fe_2O_3) auftreten kann. Die mineralogische Formel für seine Zusammensetzung ist demnach $(Fe, Mg)\,O + (Cr_2, Al_2, Fe_2)O_3$; sein

---

[1]) Magnetit schmilzt nach Doelter u. a. bei etwa 1200° C., Eisenglanz bei 1300° C. (J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen II, Seite 4).

Gehalt an Chromoxyd schwankt zwischen 7—65 v. H., an Tonerde von 1—56 v. H., an Eisenoxydul von 14—43 v. H., an Magnesia von 7—24 v. H.[1]). Dieser Zusammensetzung gemäſs besitzt es keine stark ausgeprägte basische Beschaffenheit, und es widersteht deshalb auch kieselsäurereichen Schlacken in starkem Maſse. Man benutzt es bisweilen zur Auskleidung von Flammöfen, in welchen hohe Temperaturen entwickelt werden (Martinöfen, in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochen), wobei es entweder in Form gröſserer Stücke oder von Ziegeln Verwendung findet, die aus dem gemahlenen Erz unter Zusatz eines Bindemittels (Teer, Kalk) gefertigt werden. Der hohe Preis des Chromeisenerzes und der Umstand, daſs seine Feuerbeständigkeit in Anbetracht seiner schwankenden Zusammensetzung ein verschiedenes Maſs besitzt, machen es jedoch erklärlich, daſs wenigstens in Deutschland die Benutzung für den in Rede stehenden Zweck ziemlich selten geblieben ist[2]).

Zu hoher Bedeutung im Eisenhüttenbetriebe sind dagegen seit dem Jahre 1878 solche feuerfesten Baustoffe gelangt, welche Kalk, Magnesia oder beide Körper zusammen als Grundbestandteil enthalten[3]).

Im reinen Zustande sind beide Körper, sowohl einzeln als in Vermischung miteinander, in den Öfen des Eisenhüttenbetriebes unschmelzbar[4]). Geringe Mengen von Kieselsäure oder Tonerde beeinträchtigen nicht wesentlich ihre Feuerbeständigkeit; ein gröſserer Gehalt würde sie zur Benutzung als feuerfeste Baustoffe ungeeignet machen. Nicht minder gefährlich sind Eisenoxyde in reichlichen Mengen, welche leicht schmelzbare Verbindungen mit Kalk und Magnesia bilden; ein geringer Eisenoxyd- oder Tonerdegehalt, welcher das Fritten beim Brennen erleichtert, ist dagegen oft erwünscht. Das am häufigsten zur Herstellung dieser basischen feuerfesten Baustoffe benutzte Gestein ist der Dolomit, welcher neben ungefähr 45 v. H. Kohlensäure 30 v. H. Kalkerde, 20 v. H. Magnesia, 1—2 v. H. Kieselsäure, ebensoviel Tonerde und kleine Mengen Eisenoxydul und andere Fremdkörper enthält. Dolomit, auf einem mitteldeutschen Eisenwerke zur Herstellung basischer Ziegeln benutzt, enthielt z. B.:

CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CO_2	H_2O
30,12	19,21	1,85	2,05	0,26	44,97	2,00.

Ein höherer Eisenoxydulgehalt als 3 v. H. würde der Verwendbarkeit des Dolomits als feuerfester Stoff nachteilig sein; auch ein wesentlich höherer Kieselsäuregehalt, als angegeben, ist nicht

[1]) Analysen: H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 2, Seite 241. Nach Doelter schmilzt Chromeisenerz bei 1450° C., nach Brun bei 1670—1850° C. (wie Fuſsanmerkung 1 auf Seite 190).

[2]) Vergl. u. a. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 643.

[3]) Die erste Anwendung fanden diese Stoffe bei dem in dem genannten Jahre durch Thomas und Gilchrist erfundenen Thomasverfahren (in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde beschrieben), welches erst durch ihre Benutzung möglich wurde.

[4]) Nach Hempel schmilzt Kalk bei 1900° C., Magnesia erst bei 2250° C. (Zeitschr. f. Elektrochemie 1903, Seite 851).

zulässig. Je magnesiareicher der Dolomit ist, desto besser eignet er sich für den in Rede stehenden Zweck[1]).

Zur Bereitung des feuerfesten Baustoffs wird der Dolomit zunächst in Weifsglut bis zum Sintern gebrannt. Diese starke Erhitzung ist notwendig, weil er hierdurch erst die Eigenschaft verliert, an der Luft rasch wieder Feuchtigkeit und Kohlensäure aufzunehmen, wodurch er für die fernere Verwendung unbrauchbar werden würde. Man nennt daher die Erhitzung bis zu jenem Grade Totbrennen des Dolomits. Zum Brennen pflegt man sich eines Schachtofens zu bedienen, den zum Umschmelzen des Roheisens dienenden, in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde beschriebenen Kupolöfen ähnlich und deshalb ebenfalls häufig Kupolofen genannt.

Die Abb. 61 und 62 zeigen die Einrichtung eines solchen Dolomitbrennofens auf einem oberschlesischen Eisenwerke. Der ganze Ofen samt der Esse ist durch einen Eisenblechmantel von 10 mm Stärke eingeschlossen und wird durch Gebläsewind betrieben. Der Wind gelangt zunächst in den rings um den Ofen herumlaufenden, an den Mantel angenieteten Verteilungskanal *a* und aus diesem durch sechs kreisrunde Öffnungen (Formen) von je 300 mm Durchmesser in den Ofen. Hinter jeder dieser Windformen ist, wie Abb. 61 erkennen läfst, in der Rückwand des Kanals eine zum Öffnen eingerichtete, mit einer Glas- oder Glimmerplatte verschlossene Schauluke angebracht, durch welche man die Vorgänge im Inneren beobachten und erforderlichen Falls Versetzungen vor den Formen losbrechen kann. Das Einschütten der Stoffe erfolgt durch die zwei einander gegenüberliegenden Öffnungen *b* oberhalb einer zu diesem Zwecke angebrachten Gichtbühne; zum Ausräumen des gebrannten Dolomits dienen die am Fufse befindlichen sechs Ziehöffnungen *cc* . . ., welche während des Blasens durch Türen geschlossen sind. Das Ofenfutter besteht von den Formen aufwärts bis ungefähr 1 m unterhalb der Einschüttöffnungen aus basischen Ziegeln, in dem übrigen Teile aus Schamottziegeln. Statt der basischen Ziegel ist auch für diesen Zweck mitunter Chromeisenerz mit gutem Erfolge verwendet worden. Als Brennstoff dienen Koks, welche in abwechselnden Lagen mit dem zu brennenden Dolomit in die Gicht eingeschüttet werden. Beim Anheizen wird der Ofen bis etwa zur Hälfte seiner Höhe mit Koks gefüllt; dann kommt eine Dolomitschicht, wiederum Koks u. s. f. Wenn die Oberfläche der Beschickungssäule sinkt, wird frisch nachgefüllt. Auf 250—300 kg Koks setzt man etwa 550 kg Dolomit; 1000 kg fertig gebrannter Dolomit erheischen 1200—1300 kg Koks. Die Windpressung beträgt etwa 80 mm Wassersäule, die tägliche Leistung des Ofens ungefähr 4 t gebrannter Dolomit.

Wenn die Esse des Ofens ausreichend hoch, die Höhe des Ofens selbst dagegen nicht allzu beträchtlich ist, genügt auch natürlicher Luftzug, eine ausreichend lebhafte Verbrennung hervorzubringen. Die Windformen kommen alsdann in Wegfall, und der

---

[1]) Sonstige Analysen von Dolomiten, welche als feuerfeste Baustoffe Verwendung finden: „Stahl und Eisen" 1886, Seite 623.

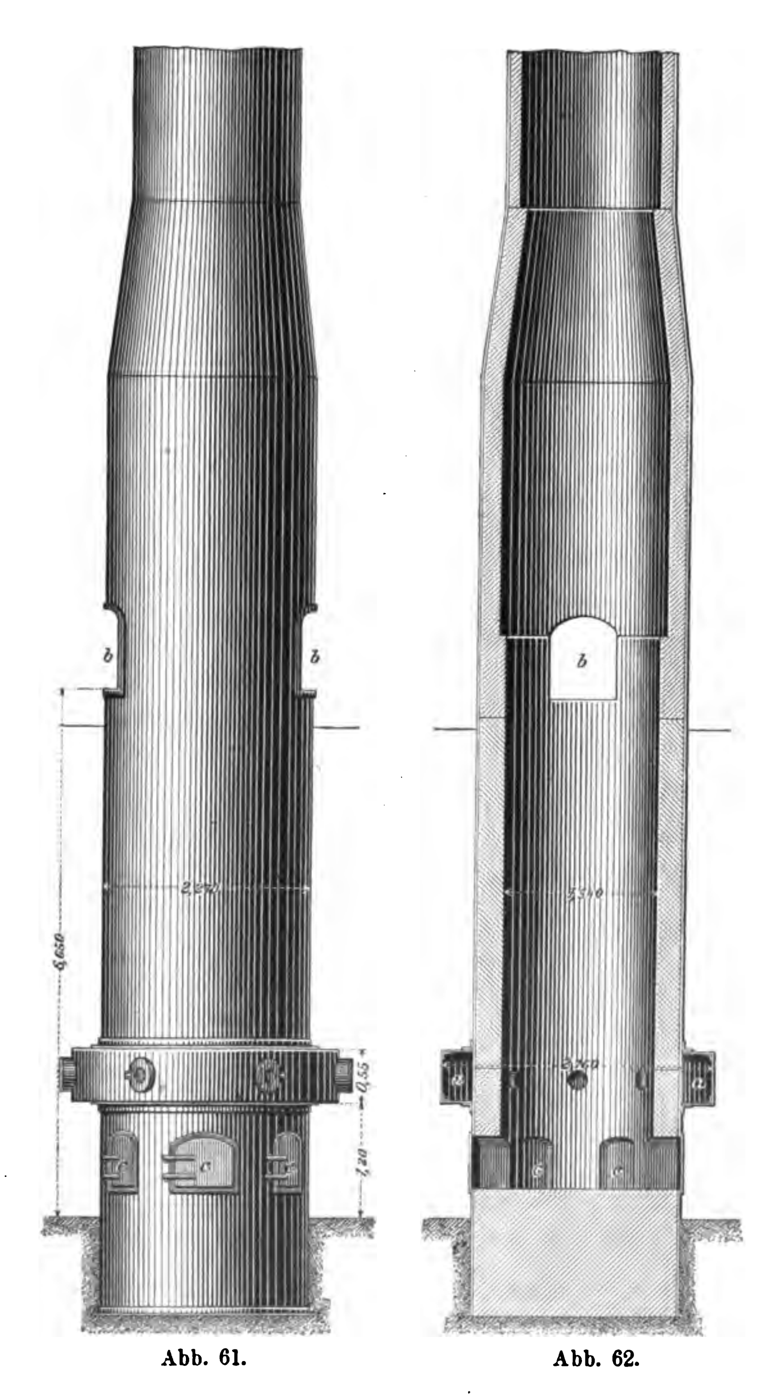


Abb. 61. Abb. 62.

Boden des Ofens besteht aus einem Roste, durch welchen die Verbrennungsluft zutritt.

Nach dem Brennen enthält der Dolomit ungefähr 55 v. H. Kalkerde, 35 v. H. Magnesia, 5 v. H. Kieselsäure, übrigens Eisenoxyd, Tonerde, Spuren von Mangan und anderen Körpern; z. B. Dolomit aus Duisburg:

CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
55,27	35,12	5,58	1,84	2,84.

Er wird in einem Kollergange oder einer sonstigen Vorrichtung gemahlen, wenn nötig, gesiebt und dann mit Teer gemischt, welchen man durch Kochen seines Wassergehalts beraubt hatte. Die Menge des zugesetzten Teers beträgt 3—8 Gewichtsteile auf 100 Teile Dolomits, abweichend nach der Beschaffenheit des Teers und der besonderen ins Auge gefaſsten Verwendung der Masse. Die Mischung wird in der Regel durch eine Mischmaschine bewirkt, deren Einrichtung der zum Mischen anderer fester Körper, z. B. des feuerfesten Tons mit Magerungsmitteln, des für Gieſsereizwecke bestimmten Lehms mit Pferdedünger u. a. m., gleich oder ähnlich ist[1]). Durch den Teerzusatz wird das Dolomitpulver bildsam. Man verwendet nun das Gemisch entweder als Stampfmasse, welche, wie die aus Schamott und feuerfestem Tone bereitete Masse, ohne weiteres zum Auskleiden der Öfen oder sonstigen Vorrichtungen durch Einstampfen verarbeitet wird, oder man formt Ziegel daraus, mit welchen die Öfen ausgemauert werden. Vor der Benutzung müssen durch Brennen die flüchtigen Bestandteile des Teers ausgetrieben werden, wobei Kohle als ein die Dolomitteilchen verbindender Kitt zurückbleibt. Gröſsere Ofenteile, welche selbständig gefertigt und dann erst in den Ofen eingesetzt werden (z. B. Böden der Thomasbirnen), brennt man in einfach eingerichteten Öfen. Als Beispiel kann der in Abb. 63 und 64 im Grundrisse und Querschnitte dargestellte Ofen dienen. An den beiden Stirnseiten wird der Ofen während des Brennens durch eiserne, in Angeln sich drehende Türen geschlossen; ein durch den ganzen Ofen hindurchgehendes Schienengleis dient zum Ein- und Ausbringen der mit ihren Formen auf eiserne Wagen gestellten zu brennenden Gegenstände. Drei an den Längsseiten befindliche Rostfeuerungen dienen zum Heizen des Ofens; die Verbrennungsgase entweichen durch vier im Boden angebrachte, durch Schieber von auſsen ganz oder zum Teil verschlieſsbare Öffnungen in einen gemeinschaftlichen, unter der Sohle des Ofens sich erstreckenden Essenkanal. Die Zeitdauer des Brennens schwankt nach Maſsgabe des Gewichts der Gegenstände zwischen 12 Stunden bis mehreren Tagen. Anfänglich erweichen die eingebrachten Gegenstände, da der Teer bei der Erhitzung flüssig wird; später werden sie steinhart.

Ziegel kleinerer Abmessungen brennt man nicht in besonderen Öfen, sondern man formt sie unter starkem Drucke (etwa 400 kg

[1]) Abbildungen solcher Maschinen: Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Aufl., Seite 108, 109.

auf 1 qcm) mit Hilfe einer Wasserdruckpresse, mauert sie, ohne sie zuvor zu brennen, ihrer Bestimmung gemäfs ein und erhitzt sie nun erst an Ort und Stelle.

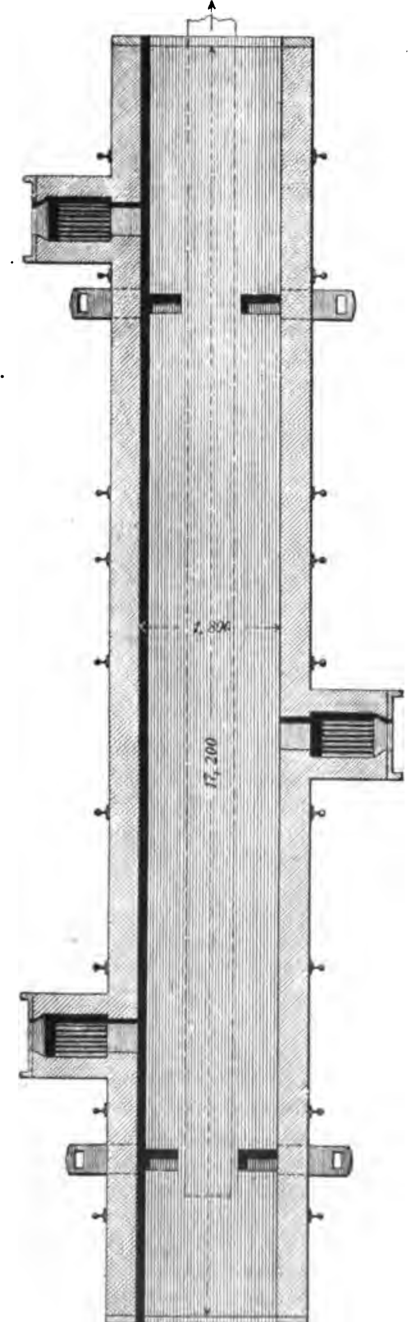


Abb. 63.

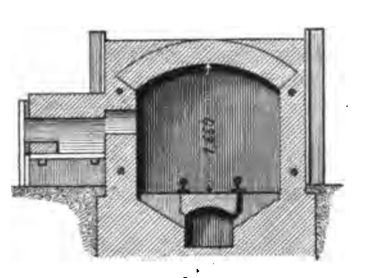


Abb. 64.

Die Anordnung der sämtlichen Vorrichtungen einer Dolomitanlage gegeneinander ist in Abb. 65 erkennbar[1]). Durch den aufserhalb des Gebäudes stehenden Steinbrecher wird der Dolomit zunächst auf etwa Faustgröfse zerkleint, um dann durch den benachbarten mechanischen Aufzug auf die Gichtbühne der im Gebäude rechts stehenden Brennöfen gehoben zu werden. In der Nähe der Öfen befinden sich zwei vertieft eingebaute Glockenmühlen, Zerkleinerungsvorrichtung nach Art der bekannten Kaffeemühlen eingerichtet[2]), deren jede täglich 15 t Mahlgut zu liefern imstande ist. Ein sich daran schliefsendes Becherwerk hebt den gemahlenen Dolomit in einen im Oberstock befindlichen Behälter, von welchem aus er nun zum Zwecke seiner Vermischung mit Teer durch Abfallrinnen entweder dem zu ebener Erde aufgestellten Kollergange oder der wagerechten Knetmaschine zugeführt wird. Beide

[1]) Dolomitanlage der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hüttengesellschaft in Differdingen, von der Firma Eduard Laeis & Co. in Trier gebaut.

[2]) Abbildung einer Glockenmühle u. a. in Fürer, Salzbergbau- u. Salinenkunde, Seite 449.

Vorrichtungen lassen sich durch Dampfheizung erwärmen. Der Teer wird aufserhalb des Gebäudes gekocht. Zum Formen der Ziegeln und Birnenböden dient eine Wasserdruckpresse und eine Stampfmaschine; links schliefsen sich an das Gebäude die Brennöfen für die Birnenböden an. Für den Betrieb der Anlage ist ein Arbeitsaufwand von ungefähr 80 Pferdestärken erforderlich.

An Stelle des Dolomits findet Magnesit häufige Benutzung für Herstellung feuerfester Baustoffe, und der Ersatz des Dolomits durch Magnesit würde noch umfänglicher sein, wenn nicht das Vorkommen des letzteren weit beschränkter und deshalb der Preis entsprechend höher wäre.

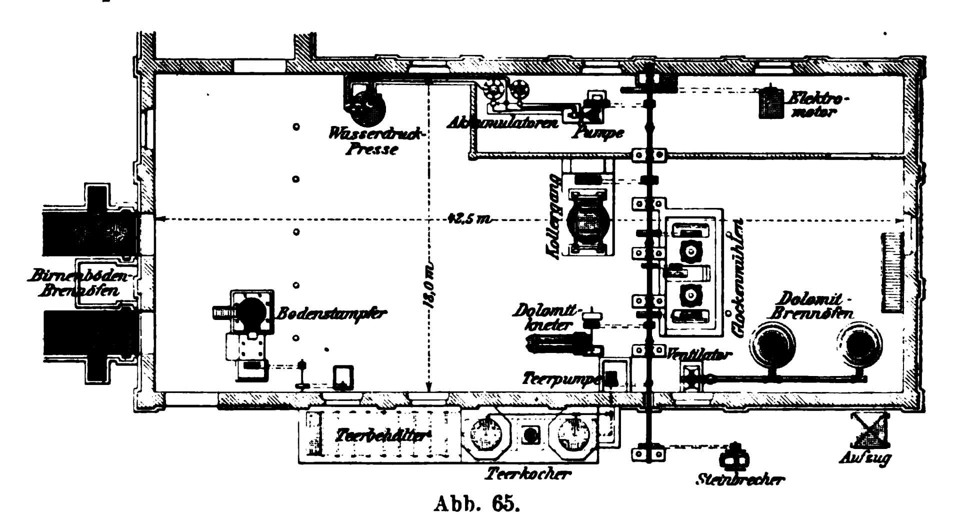


Abb. 65.

Der Vorzug des gebrannten Magnesits im Vergleich zum Dolomit beruht auf seiner gröfseren Widerstandsfähigkeit sowohl gegenüber der Feuchtigkeit in gewöhnlicher Temperatur als dem Angriffe der Kieselsäure und der Schlacken in Weifsglut. Er läfst sich länger aufbewahren, ohne Einbufse an seiner Brauchbarkeit zu erleiden, und das Ofenmauerwerk (das Ofenfutter) ist, zumal der Einwirkung jener auflösend wirkender Körper gegenüber, haltbarer.

Das wichtigste Magnesitvorkommen, welches den gröfsten Teil des Bedarfs Österreichs, Deutschlands und anderer Länder deckt, findet sich in mächtigen Ablagerungen im Veitschtale in Steiermark; auch Euböa liefert in neuerer Zeit gröfsere Mengen gut brauchbaren Magnesits. Der steirische Magnesit enthält 90—96 v. H. Magnesiumkarbonat, kleine Mengen Calciumkarbonat, 3—4,5 v. H. Eisenoxydul, etwa 1 v. H. Kieselsäure; nach dem Brennen findet man etwa 85 v. H. Magnesia, 2 v. H. Kalkerde, 8 v. H. Eisenoxyd, 2,5 v. H. Kieselsäure, daneben Spuren von Manganoxyd, Kohlendioxyd u. a., z. B.:

	MgO	CaO	MnO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_3	CO_2
Roher Magnesit . .	42,48	1,68	0,58	3,58	0,08	0,92	50,41
Totgebrannter . . .	84,26	2,25	0,72	8,40	—	2,50	0,50

(Sonstige Analysen: „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 622; 1890, Seite 222.)

Der Gehalt an fremden Körpern erreicht hier eben jenes Mafs, dafs beim Brennen in Weifsglut das für die spätere Benutzung notwendige Fritten (Totbrennen) eintritt. Der Magnesit von Euböa ist ärmer an Eisen; er bleibt auch nach dem Brennen hell gefärbt, während der eisenreichere steirische Magnesit schwarze Farbe annimmt. Reines Magnesiumkarbonat frittet auch in den höchsten Temperaturen nicht und bleibt deshalb nach dem Brennen den Einflüssen der Feuchtigkeit und Kohlensäure leichter zugänglich.

Das Brennen kann in gleichen Öfen wie das des Dolomits bewirkt werden.

Der gebrannte Magnesit findet nun in verschiedener Weise Verwendung.

Ein Teil wird gemahlen und unter starkem, durch eine Wasserdruckpresse ausgeübtem Drucke zu Ziegeln geformt, welche in hellster Weifsglut gebrannt werden. Man benutzt hierfür Magnesit, welcher zuvor nur in Rotglut gebrannt und auch nicht gesintert war; oder man mischt totgebrannten Magnesit mit weniger stark gebranntem; oder man setzt auch wohl kleine Mengen irgendeines Bindemittels zu. Die Anfertigung dieser Steine pflegt auf der Gewinnungsstätte des Magnesits vorgenommen zu werden, da sie widerstandsfähig genug sind, um Versendung auf weite Entfernungen zu vertragen.

Ein anderer Teil des gebrannten Magnesits wird zu Stampfmasse verarbeitet. Man kann hierbei wie bei der Bereitung der Dolomit-Stampfmasse verfahren, d. h. den feingemahlenen und gesiebten Magnesit mit Teer mengen. Mitunter benutzt man statt des Teers, welcher ziemlich kostspielig ist und beim Erhitzen lästige Dämpfe entwickelt, Dolomitmilch, aus gebranntem (jedoch nicht totgebranntem) und mit Wasser gelöschtem Dolomit bereitet [1]), oder Magnesitmilch, in gleicher Weise hergestellt, oder man sieht überhaupt von der Anwendung von Zusätzen ganz ab. Da der totgebrannte Magnesit mit Wasser in Berührung gebracht werden kann, ohne seine Eigenschaften zu ändern, ist man bei der Auswahl der Zusätze weniger beschränkt als bei Benutzung von Dolomit.

In Rücksicht auf das, wie schon erwähnt, ziemlich seltene Vorkommen benutzbarer Magnesitlager hat man mehrfach vorgeschlagen, die an und für sich ziemlich wertlosen Chlormagnesiumlaugen der Chlorkaliumfabriken auf Magnesia zu verarbeiten und diese für die Darstellung feuerfester Steine zu benutzen, ohne dafs jedoch die für diesen Zweck versuchsweise angewendeten Verfahren dauernde Anwendung gefunden haben [2]). Die in dieser Weise gewonnene, fast reine Magnesia sintert in Weifsglut schwieriger als der natürlich vorkommende Magnesit zu einer festen Masse zusammen; vermutlich sind auch die Herstellungskosten dieser Erzeugnisse höher gewesen als bei Benutzung von Magnesit.

Wo ein an Kieselsäure ausreichend armer, am besten etwas magnesiahaltiger K a l k s t e i n zur Verfügung steht, Dolomit und

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 225.
[2]) „Stahl und Eisen“ 1881, Seite 99.

Magnesit dagegen schwer zu erlangen sind, verwendet man auch diesen bisweilen zur Herstellung eines basischen Ofenbaustoffs. Das Verfahren dabei ist ähnlich wie bei der Verarbeitung von Dolomit. Auf einigen Werken mahlt man den rohen Kalkstein, vermischt ihn mit einer kleinen Menge basischer Schlacke (Thomasschlacke, in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochen) als Bindemittel und formt Ziegel daraus, die in ähnlichen Öfen, wie oben abgebildet, gebrannt werden, um dann erst zerkleinert und nach dem Vermischen mit Teer wie gebrannter Dolomit weiter verarbeitet zu werden. Man beabsichtigt durch dieses umständlichere Verfahren, ein gleichmäfsiger zusammengesetztes Gemisch zu erhalten als durch Brennen des rohen Kalksteins in Stücken[1]). Gebrannter Kalk und die daraus gewonnenen Erzeugnisse aber sind gegen Feuchtigkeit weniger widerstandsfähig als Dolomit; aufserdem ist das Vorkommen eines für diesen Zweck gut geeigneten Kalksteins im ganzen weniger häufig als das Vorkommen brauchbaren Dolomits. Aus diesen Gründen ist die Anwendung des Kalksteins für diesen Zweck ziemlich selten geblieben.

D. Kohlenstoffziegel.

Die völlige Unschmelzbarkeit des Kohlenstoffs und seine Unauflöslichkeit durch Schlacken hat schon früher vereinzelt Veranlassung gegeben, Kohle in Form von Koks oder Graphit im gemahlenen Zustande mit einem Bindemittel (Tonwasser, Teer) zu mischen und Steine daraus zu formen. In Frankreich benutzte man um 1869 ein Gemisch von gemahlenem Koks mit Teer zur Darstellung von Steinen für Öfen mit hoher Temperatur; später verwendete Henderson für den gleichen Zweck ein Gemisch von Gasretortengraphit mit Teer[2]). Eine öftere Verwendung haben solche Kohlenstoffsteine seit 1890 beim Hochofenbau gefunden, nachdem durch Burgers das Verfahren der Herstellung vervollkommnet worden war[3]).

Man benutzt hierfür aschenarme, getrocknete Koks, welche gemahlen, mit etwa einem Fünftel ihres Gewichts Teer gemischt und in Formen gestampft werden. Die erfolgenden Ziegel werden zunächst zwei Wochen lang in gelinder Wärme getrocknet, dann in Muffeln bei Luftabschlufs gebrannt.

Der Preis der Kohlenstoffsteine ist dem Gewicht nach ungefähr doppelt so hoch als der von Schamottsteinen; da jedoch das Gewicht der Kohlenstoffsteine nur ungefähr $^{11}/_{20}$ des Gewichts von Schamottsteinen gleicher Gröfse beträgt, wird jener Unterschied zum Teil ausgeglichen.

Die Kohlenstoffsteine haben sich in mehreren Fällen gut bewährt. Nicht brauchbar sind sie, wo sie der Einwirkung eines hocherhitzten, oxydierend wirkenden Gasstroms ausgesetzt sein

---

[1]) Einiges Nähere hierüber: Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 21 (1893), Seite 745.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 478.

[3]) Burgers Vortrag hierüber: „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 112.

würden; oder wo eisenreiche Schlacken mit ihnen in länger fortgesetzte Berührung treten, deren Eisenoxydulgehalt, indem er zu Eisen reduziert wird, den Kohlenstoff verbrennen würde; oder auch, wo flüssiges, kohlenstoffarmes Eisen anhaltend auf sie einwirken kann und sie zerstört, indem es selbst Kohlenstoff auflöst. Deshalb sind sie auch beim Hochofenbau nur für die Herstellung einzelner Teile des Hochofens benutzbar, welche jenen Einflüssen nicht unterworfen sind (Rast des Hochofens; Näheres in der 2. Abteilung).

E. Die feuerfesten Mörtel.

In den Fällen, wo man die feuerfesten Baustoffe nicht als Stampfmasse verwendet, sondern wo man Ziegel daraus fertigt, welche zu Mauerwerk zusammengefügt werden, ist ein Mörtel erforderlich, um die Fugen zwischen den einzelnen Steinen zu schliessen.

Dieser Mörtel mufs an sich feuerfest genug sein, um nicht in der Temperatur, welcher die Steine ausgesetzt werden, zu zerfliefsen und aus den Fugen auszulaufen; wünschenswert dagegen ist es, dafs er mit den Steinen zusammenfritte, weil ein wirklicher Verband nur auf diese Weise entstehen kann.

Von vornherein mufs bei dem Aufbau solcher Mauerungen Sorge getragen werden, dafs die Fugen eng sind und die benachbarten Steine gut aneinanderschliefsen. Das Verfahren ist demnach wesentlich anders als bei gewöhnlichen Maurerarbeiten, bei welchen man jeden einzelnen Stein in eine dicke Mörtellage einbettet. Die Steine werden gut zusammengepafst; häufig erhöht man durch Schleifen aneinander die Genauigkeit des Zusammenpassens. Der in dieser Weise vorgerichtete Stein wird an den zu verbindenden Flächen mit einer nur ganz dünnen Mörtelschicht überzogen und an Ort und Stelle durch Reiben an den benachbarten, bereits eingesetzten Steinen in genauen Anschlufs mit diesen gebracht.

Zur Bereitung des feuerfesten Mörtels benutzt man gewöhnlich den gleichen Stoff, aus welchem die Steine bestehen, und gibt ihm einen Zusatz, durch welchen er sinterungsfähig wird. Schleift man z. B. Sandsteine, Dinassteine, Schamottsteine, so läfst sich der hierbei entstehende Schleifstaub zur Mörtelbereitung verwenden, indem man ihn mit etwas feuerfestem Ton vermengt, oder man benutzt von vornherein ein Gemisch von Schamott, für diesen Zweck besonders dargestellt, mit feuerfestem Ton und Wasser.

Lürmann empfiehlt zum Vermauern nichtbasischer Ziegel, um das Zusammenfritten beim Erhitzen zu erleichtern, ein Gemenge aus Sand, Kalk und Zement, auch wohl Hochofenschlacke, Glas, Schamott und ähnlichen Körpern, welches im feingepulverten Zustande mit so viel Wasser versetzt wird, als erforderlich ist, um die Anwendung ganz dünner Fugen zu ermöglichen[1]). Er wird aus einer Kanne auf die bereits fertig zusammengestellte Steinlage gegossen und fliefst hierbei zwischen die senkrechten Fugen.

Basische Ziegel pflegt man mit Teermörtel zu vermauern, aus

[1]) „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 433.

einem Gemische von Teer mit gebranntem Dolomit oder Magnesit bestehend und vor der Benutzung erwärmt. Magnesitmörtel besteht häufig auch nur aus gebranntem, gemahlenem und gesiebtem Magnesit mit Wasser oder Dolomitmilch, oder aus trocknem Magnesitmehl allein, welches in die Fugen gebracht wird. Zum Vermauern von Chromeisenerz oder der daraus gefertigten Ziegel verwendet man ein Gemisch desselben feingemahlenen Erzes mit etwas gebranntem Kalk oder Magnesia.

Kohlenstoffziegel werden mit einem Mörtel aus 4 Teilen Kokspulver mit 1 Teil Ton und etwas Wasser vermauert.

Literatur.

a) *Über Öfen.*

Einzelne Werke.

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie. Deutsch von F. Kupelwieser. Paris 1877. Seite 224—495.

H. Jüptner von Jonsdorf, Die Untersuchung der Feuerungsanlagen. Wien 1891.

A. Ledebur, Die Öfen für metallurgische Zwecke. Freiberg 1876.

Dr. Häufsermann, Industrielle Feuerungsanlagen. Stuttgart 1897.

Friedrich Toldt, Regenerativ-Gasöfen. Leipzig 1898.

Abhandlungen.

F. Bleichröder, Über Kohlenstaubfeuerungen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, Seite 237.

A. Halleux, De l'emploi du charbon pulvérisé dans les foyers des chaudières et des fours métallurgiques. Revue universelle des mines 1899, Seite 21.

C. Schinz, Über den Nutzeffekt und die Konstruktion von Öfen für metallurgische und technische Zwecke. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 159, Seite 200.

L. Gruner, De l'utilisation de la chaleur dans les fourneaux des usines métallurgiques. Annales des mines, Reihe 7, Bd. 8, Seite 175.

E. F. Dürre, Über die Ausnutzung der Wärme in den Öfen der Hüttenwerke. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 220, Seite 247.

Fr. Toldt, Über künstlichen Zug. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1900, Seite 397, 412, 430, 443.

E. Zetzsche, Beitrag zur Geschichte der Regeneratoren. Polytechn. Zentralblatt 1872, Seite 1441.

Hennecort, Über den Siemensschen Gasregenerativofen. Berg- und hüttenm. Zeitung 1871, Seite 403; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 202, Seite 417.

R. Åkerman, Über Regenerativ-Puddelöfen. Berg- und hüttenm. Zeitung 1874, Seite 353.

W. Schmidhammer, Studie über Gas- und Luftzuführungen bei Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 751.

W. Schmidhammer, Vorrichtungen zur Zugumschaltung. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 268.

F. Siemens, Über ein neues Verbrennungs- und Heizungssystem. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 16, Seite 126.

F. Lürmann, Das Siemenssche neue Heizverfahren mit freier Flammenentfaltung. „Stahl und Eisen" 1885, Seite 238.

F. W. Dick, Über einen neuen Regenerativofen. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 715 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1884, Seite 453).

G. Westmann, Das Siemenssche neue Heizverfahren. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1886, Seite 205.
Ein neuer Siemensofen. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 616.
Hempel, Der neue Siemensofen mit Regenerierung der Abhitze und Abgase. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1891, Seite 77.
Schöffel, Über den neuen Siemensofen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, Seite 212.
Neuer Siemensofen mit Benutzung der Verbrennungserzeugnisse. Berg- und hüttenm. Zeitung 1892, Seite 70.
S. Forter, Neues Reversierventil für Regenerativ-Gasöfen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 166.
Poetter & Co., Neuerung an Reversierventilen für Gasöfen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 333, 404.
D. Turch, Neuerung an Reversierventilen für Gasöfen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 456, 693.
A. Nägel, Neue Umsteuerungsvorrichtung für Regenerativöfen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 690.
O. Simmersbach, Neues Gas-Reversierventil für Herdöfen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 891.
C. Ritter von Schwarz, Das Kurzwernhartsche Gassparverfahren. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 937.
Fr. Frölich, Umsteuerungsvorrichtungen. Zeitschr. des Vereins deutsch. Ingenieure 1905, Seite 645.
Fr. C. G. Müller, Über Feuerungen mit teilweiser Regenerierung der Verbrennungsprodukte. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 969.

Regenerativofen von Pütsch. Zeitschr. des Vereins deutsch. Ingenieure 1883, Seite 290.
J. v. Ehrenwerth, Regenerativ-Flammöfen für periodischen Betrieb. „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 528.
J. v. Ehrenwerth, Direkte Gasfeuerung mit in Regeneratoren erhitzter Luft. „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 339.

L. Gruner, Four Boëtius. Annales des mines, Reihe 6, Bd. 16, Seite 201; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 197, Seite 498.
M. J. Macar, Note sur l'application du système Boëtius au puddlage. Revue universelle 1877, Bd. 1, Seite 202; auszugsweise in Berg- und hüttenm. Zeitung 1877, Seite 255.

M. L. Taskin, Notice sur le four à gaz du système Bicheroux. Revue universelle, Bd. 36, Seite 138; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 219, Seite 220.
M. A. Raze, Note sur l'application du système Bicheroux aux fours à puddler. Revue universelle 1877, Bd. 1, Seite 196.

A. Holley, The Pernot furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 7, Seite 241; daraus Zeitschr. des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, Seite 105.
A. P. Head, On tilting open-hearth furnaces. Journal of the Iron and Steel Institute 1899 I, Seite 69; daraus in „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 536.

b) *Über feuerfeste Baustoffe.*

Einzelne Werke.

Carl Bischof, Die feuerfesten Tone mit Berücksichtigung der feuerfesten Materialien überhaupt. Dritte Auflage. Leipzig 1904.
Bruno Kerl, Abrifs der Tonwarenindustrie. Braunschweig 1879.

Abhandlungen.

T. Egleston, Refractory Materials. Engineering and Mining Journal, Bd. 22, Seite 103.

R. Scheidhauer, Die Eigenschaften feuerfester Materialien und deren Verwendung in der metallurgischen Industrie. Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1885, Seite 821.

Quaglio, Feuerfeste Materialien. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1886, Seite 62.

Dr. Steger, Feuerfeste Massen. Preuſs. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1901, Seite 96.

P. Tunner, Über Quarzziegel, ihre Erzeugung und Anwendung. Berg- und hüttenm. Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben und Přibram, Bd. 15 (1866), Seite 132.

J. Khern, Erfahrungen über die Fabrikation von feuerfesten Quarzziegeln. Berg- und hüttenm. Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben und Přibram, Bd. 15 (1866), Seite 156.

C. Bischof, Verfahren zur pyrometrischen Wertbestimmung kieselreicher Materialien. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 196, Seite 525.

H. Seger und E. Cramer, Dinassteine. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 1084.

C. Bischof, Praktische Versuche zur Bestimmung der Güte feuerfester Tone. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 159, Seite 54.

C. Bischof, Die Feuerbeständigkeit der Tone nach den Resultaten synthetischer Versuche, analytischer Untersuchungen und der Erfahrungen in technischer wie mineralogischer Beziehung. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 170, Seite 43.

C. Bischof, Versuch einer empirischen in Prozenten ausgedrückten Wertstellung der feuerfesten Tone. Dinglers polytechn. Journal, Bd 194, Seite 420.

C. Bischof, Analyse der Normaltone, welche zur Wertstellung der feuerfesten Tone dienen. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 196, Seite 431.

C. Bischof, Nachtrag, meinen Versuch einer Wertstellung der feuerfesten Tone betreffend. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 198, Seite 407.

E. Richters, Über die Feuerbeständigkeit der Tone. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 191, Seite 59.

E. Richters, Die Feuerbeständigkeit der Tone betreffend; einige Bemerkungen zu den neuesten Aufsätzen Dr. Bischofs über denselben Gegenstand. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 197, Seite 268.

E. Cramer, Wirkung der Fluſsmittel in Tonen. Bericht der 15. Generalversammlung des Vereins der Fabriken feuerfester Produkte (1895), Seite 31; Bericht der 17. Generalversammlung desselben Vereins (1897), Seite 25.

H. Hecht, Über verschiedene im Handel befindliche Chamottesteine. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 640.

B. Osann, Einwirkung zerstörender Einflüsse auf feuerfestes Mauerwerk im Eisenhüttenbetriebe. Bericht über die 23. Hauptversammlung des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte (1903), Seite 66; auch „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 823.

Dr. Jochum, Die Anforderungen der Hüttenindustrie an die Fabrikation feuerfester Produkte und unsere Edeltone. Bericht über die 23. Hauptversammlung des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte (1903), Seite 44.

Ludwig, Über Beziehungen zwischen der Schmelzbarkeit und der chemischen Zusammensetzung der Tone. Bericht über die 24. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabriken feuerfester Produkte (1904), Seite 47.

A. Wasum, Das Verhalten der erdbasischen feuerfesten Materialien gegen die in der Praxis des Hüttenbetriebes vorkommenden

Einflüsse. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1884, Seite 104; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1884, Seite 216.
T. Egleston, Basic refractory materials. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 14, Seite 455.
Zyromski, Dolomit und Magnesia. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 622.
K. Sorge, Über Magnesit und seine Verwendung als basisches feuerfestes Material. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 850.
M. Kjellberg, Magnesit im basischen Martinofen. „Stahl und Eisen" 1890, Seite 222.
C. Bischof, Über Magnesiaziegeln. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 27.
Dr. Leo, Veithscher Magnesit. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 304, Seite 278.
Dr. Leo, Mitteilungen über basisches Material zur Ausfütterung von Öfen. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 304, Seite 279.
Dolomitanlage für Stahlwerke. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1201.

Th. Jung, Die Verwendung von Kohlenstoffsteinen im Hochofenbetriebe. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, Seite 1099.
J. Kail, Über die praktische Anwendung von Kohlenstoffziegeln. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 691.

V. Die Schlacken der Eisendarstellung.

1. Begriff und Zusammensetzung.

Schlacken nennt man die beim Schmelzen oder beim Glühen von Metallen erfolgenden, ihrer chemischen Zusammensetzung nach gröfstenteils aus Sauerstoffverbindungen bestehenden Nebenerzeugnisse, welche in der Temperatur des erhitzten Metalls flüssig, in gewöhnlicher Temperatur fest sind[1]).

Alle bei der Darstellung und Verarbeitung des Eisens gewonnenen Schlacken enthalten Eisen als Oxydul oder Oxyduloxyd; seine Menge ist jedoch nach der Art des Verfahrens — ob Reduktion oder Oxydation stattfand — sehr verschieden und schwankt von 0,1—70 v. H. des Schlackengewichts. Einige Eisenschlacken bestehen aus fast reinem Eisenoxyduloxyd. Kieselsäurereiche Schlacken können nur Eisenoxydul (FeO) enthalten, welches eine kräftigere Base ist als Eisenoxyd (Fe_2O_3); je stärker basisch die Schlacke ist, desto gröfsere Mengen Eisenoxyd können neben Eisenoxydul vorkommen. Mitunter wird das bei der chemischen Untersuchung der erkalteten Schlacke gefundene Eisenoxyd erst bei der Abkühlung unter Luftzutritt entstanden sein, während die flüssige Schlacke nur Eisenoxydul enthielt. Unter der Benennung Eisenoxyduloxyd ist jede Verbindung verstanden, welche sowohl Eisenoxydul als Eisenoxyd enthält; das gegenseitige Gewichtsverhältnis beider Oxydationsstufen ist verschieden.

---

[1]) Ähnliche Neben- oder Zwischenerzeugnisse, die jedoch in der Eisendarstellung keine Rolle spielen, sind Steine und Speisen. Erstere bestehen gröfstenteils aus Schwefelmetallen, letztere aus Arsen- und Antimonmetallen.

Neben den Oxyden des Eisens finden sich in den Eisenhüttenschlacken naturgemäfs die Oxyde solcher Körper, welche, schwieriger reduzierbar und leichter oxydierbar als das Eisen, entweder schon in den Erzen neben dem Eisen vorhanden waren oder den Erzen als Zuschläge gegeben wurden, damit die entstehende Schlacke eine den Eigentümlichkeiten des durchzuführenden Verfahrens entsprechende Zusammensetzung erhalte, oder welche, aus irgendeiner anderen Quelle (Ofenmauerwerk, Brennstoffasche) entstammend, in die Schlacke übergingen. Hierher gehören Kieselsäure, Alkalien (selten in gröfseren Mengen als 3 v. H.), alkalische Erden (unter denen besonders Kalkerde und Magnesia in oft beträchtlichen Mengen in den Schlacken auftreten), Manganoxydul, Tonerde, mitunter Titansäure, Vanadinsäure, Chromoxyd, unter bestimmten Verhältnissen Phosphorsäure in bisweilen ansehnlicher Menge. Aufserdem bildet Schwefel in kleinen Mengen (bis zu etwa 3 v. H.) einen selten fehlenden Bestandteil bestimmter Schlacken, und zwar vorwiegend im nichtoxydierten Zustande, d. h. in Vereinigung mit Metallen (Calcium, Mangan) zu Sulfiden. Sulfate werden in hoher Temperatur unter Verflüchtigung von Schwefelsäureanhydrid zerlegt und können aus diesem Grunde in Schlacken, welche längere Zeit in hoher Temperatur flüssig erhalten wurden, nicht bestehen. Gelangte die Schlacke aber zum Erstarren, nachdem sie erst kurz zuvor Gelegenheit zur Aufnahme von Sulfaten gefunden hatte, so kann sie allerdings noch kleinere Mengen von Schwefelsäure enthalten; werden basische, zumal kalkreiche, Schlacken erst untersucht, nachdem sie längere Zeit der Einwirkung der Luft preisgegeben waren, so findet man nicht selten Schwefelsäure, welche erst durch Zersetzung von Sulfiden unter jener Einwirkung entstanden war. Diese allmähliche Umwandlung von Sulfiden in Sulfate wird besonders deutlich erkennbar, wenn man dieselbe Schlacke wiederholt nach längeren Zeitabschnitten, z. B. nach Jahresfrist, untersucht. Ohne dafs der Gesamtschwefelgehalt sich zu ändern braucht, wird der Gehalt an Schwefelsäure stetig gröfser. Bei Einwirkung feuchter kohlensäurehaltiger Luft auf kalkreiche, schwefelhaltige Schlacken findet mitunter auch eine Entwicklung von Schwefelwasserstoff statt, welche durch den Geruch wahrnehmbar ist ($CaS + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + H_2S$). Selbst freier Schwefel kann ausgeschieden werden. Unter Mitwirkung des freien Sauerstoffs der Luft entsteht in diesem Falle zunächst Calciumkarbonat neben unterschwefligsaurem Calcium:

$$2\,CaS + 4\,O + CO_2 = CaCO_3 + CaS_2O_3;$$

das gebildete unterschwefligsaure Calcium verwandelt sich unter Aufnahme von Sauerstoff in schwefelsaures Calcium (Calciumsulfat) und freien Schwefel:

$$CaS_2O_3 + O = CaSO_4 + S.$$

Jedoch auch in Drusenräumen schwefelreicher Schlacken findet man mitunter ausgeschiedenen Schwefel, bald nachdem die Erkaltung stattgefunden hat, woraus sich schliefsen läfst, dafs hier schon während der Abkühlung chemische Vorgänge sich vollzogen,

welche die Schwefelausscheidung veranlafsten! Eine von mir untersuchte Hochofenschlacke von Zeltweg, welche

SiO_2	Al_2O_3	MgO	FeO	MnO	CaO	CaS
30,18	13,21	7,78	0,26	2,44	34,99	8,08,

also 3,59 v. H. gebundenen Schwefel enthielt, war aufserdem reichlich bedeckt mit Schwefelkristallen. Eine zuverlässige Erklärung der Vorgänge, welche in solchen Fällen die Schwefelausscheidung veranlafsten, ist bislang noch nicht gegeben.

Alle Bestandteile der Schlacken treten in sehr verschiedenen gegenseitigen Gewichtsverhältnissen und ohne jede Rücksicht auf stöchiometrische Verhältniszahlen nebeneinander auf. Hieraus folgt zunächst, dafs eine Schlacke nicht aus einer einzigen engeren chemischen Verbindung zu bestehen braucht, sondern als eine in hoher Temperatur flüssige Lösung verschiedener chemischer Verbindungen ineinander zu betrachten ist. Dafs diese Verbindungen der Hauptsache nach Sauerstoffverbindungen der Metalle und Metalloide seien, wurde schon erwähnt.

Diese Theorie hat nichts Auffälliges, wenn man erwägt, dafs zahlreiche andere Körper ein gleiches Verhalten zeigen. Wasser vermag zahlreiche Körper zu lösen und mit ihnen zu erstarren, ohne dafs eine chemische Verbindung nach stöchiometrischen Verhältnissen dabei zu entstehen braucht; Borax und Phosphorsalz dienen im geschmolzenen Zustande als vortreffliche Lösungsmittel für Oxyde der mannigfachsten Art und erstarren mit ihnen zu gleichmäfsig zusammengesetzten „Gläsern", gleichviel, wie grofs das gegenseitige Gewichtsverhältnis ist. Es liegt kein Grund vor, anzunehmen, dafs, wenn Kieselsäure oder Phosphorsäure mit Kalkerde, Magnesia, Eisenoxydul oder anderen Körpern in hoher Temperatur sich vereinigen, hier nicht eine einfache Lösung der Körper ineinander möglich sei, sondern durchaus engere chemische Verbindungen sich bilden müssen.

Auch die Kristallisation vieler Schlacken ist keineswegs, wie man häufig annimmt, ein Merkmal, dafs hier eine engere chemische Verbindung vorhanden sein müsse. Läfst man eine in gewöhnlicher Temperatur flüssige Lösung gefrieren, so zeigt auch diese nicht selten die Neigung zu kristallisieren; Legierungen, d. h. Lösungen der Metalle ineinander, kristallisieren häufig in schön ausgebildeten Formen, ohne dafs ihr gegenseitiges Gewichtsverhältnis den Atomgewichten zu entsprechen braucht.

Wie die Eigenschaften der in gewöhnlicher Temperatur flüssigen Lösungen entsprechen diejenigen der Schlacken: Dichtigkeit, Schmelztemperatur, Farbe u. a. m., keineswegs immer dem Mittel aus den Eigenschaften ihrer Bestandteile. Insbesondere liegt die Schmelz- und Erstarrungstemperatur tiefer, als die Berechnung aus der Schmelztemperatur der Einzelbestandteile ergeben würde [1]).

Beim Erstarren flüssiger Schlacken sondern sich nicht selten

---

[1]) Ein naheliegendes Beispiel des gleichen Verhaltens gewöhnlicher Lösungen geben uns die Lösungen von Kochsalz in Wasser. Kochsalz schmilzt und erstarrt bei etwa 600° C., Wasser bei 0°, Kochsalzlösung aber in Temperaturen unter 0°.

Körper bestimmter Zusammensetzung von der übrigen Masse. In erkalteter Thomasschlacke finden sich z. B. häufig tafelförmige oder säulenförmige, braune oder blaue Kristalle eines Calciumphosphats von der Formel $4\,CaO, P_2O_5$; in Dünnschliffen läfst sich mikroskopisch die Anwesenheit bestimmter Ausscheidungen öfters nachweisen. Die Schlacken verhalten sich auch in dieser Beziehung ebenso wie andere Lösungen. Aus verdünnter Chlornatriumlösung (Kochsalzlösung) scheidet z. B. beim Gefrieren zunächst reines Eis aus, die Lösung wird immer reicher an Chlornatrium, und erst bei 22 ° C. unter Null erstarrt die bis dahin noch flüssig gebliebene Lösung, welche nunmehr 23,5 v. H. Chlornatrium enthält; man nennt sie, weil sie bis zuletzt flüssig blieb, die eutektische (gutflüssige) Lösung. Bringt man dagegen eine Lösung, welche mehr als 23,5 v. H. Chlornatrium enthält, zum Gefrieren, so scheidet zunächst Chlornatrium aus, bis die eutektische Lösung mit dem angegebenen Chlornatriumgehalte zurückgeblieben ist, um nun ebenfalls bei — 23,5 ° C. zu erstarren. Untersucht man aber die erstarrte eutektische Lösung unter dem Mikroskope, so zeigt sich, dafs auch sie beim Erstarren in ein inniges Gemisch von Eis und Chlornatriumkristallen übergegangen ist, also beim Gefrieren ihre Eigenschaft als Lösung verloren hat. In gleicher Weise scheiden aus flüssigen Schlacken, sofern diese nicht ohne weiteres eutektische Lösungen bilden, die im Überschusse gelösten Bestandteile zunächst aus, bis zuletzt die eutektische Lösung erstarrt, welche sehr verschiedene Bestandteile enthalten kann. Je langsamer die Erstarrung vonstatten geht, desto deutlicher zeigt sich dieses Zerfallen. Es erklärt sich hieraus, dafs dieselbe Schlacke oft recht verschiedene Eigenschaften besitzen kann, je nachdem sie rasch oder langsam abgekühlt wurde. Einige Beispiele hierfür sind unten bei Besprechung des Gefüges und der Farbe der Schlacken gegeben.

Wenn nun die Entstehung und die Zusammensetzung der Schlacken nicht durch bestimmte Atomverhältnisse der Bestandteile bedingt ist, so bleibt die Frage zu beantworten, welche anderen Umstände für jene Zusammensetzung mafsgebend sind, und die Kenntnis dieser Umstände ist nicht ohne Wichtigkeit für die Beurteilung des Verfahrens, welchem diese oder jene Schlacke entsprungen war. Mehrere Einflüsse können gleichzeitig hierbei wirksam sein.

Zunächst die Beschaffenheit und die gegenseitigen Gewichtsverhältnisse der überhaupt anwesenden zur Schlackenbildung geeigneten Körper, zu welchen das Ofenfutter mitunter einen nicht unbeträchtlichen Teil liefert; sodann die Eigentümlichkeiten des Verfahrens, bei welchem die Schlacke entstand, insbesondere die dabei stattfindenden Reduktions- oder Oxydationswirkungen, die herrschende Temperatur u. a. m. Mit der Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke aber steht fast immer die Zusammensetzung des erfolgenden Metalls in naher Beziehung; die eine ist von der anderen abhängig, und jede Änderung in der Beschaffenheit des einen Erzeugnisses beeinflufst auch die Beschaffenheit des anderen.

Beim Hochofenschmelzen will man z. B. als Erzeugnis Roheisen gewinnen, welches Kohlenstoff, daneben häufig Silicium oder

Mangan oder beide Körper nebeneinander enthält. Die Erreichung des Zieles ist unmöglich, wenn eine eisenreiche Schlacke entsteht. Silicium und Mangan können als schwerer reduzierbare, leichter oxydierbare Körper überhaupt nicht reduziert und vom Eisen aufgenommen werden, solange noch gröſsere Mengen Eisenoxydul zugegen sind; ebensowenig kann Kohlenstoff, welcher vom Sauerstoff des Eisenoxyduls verbrannt werden würde, in gröſseren Mengen vom Eisen aufgenommen werden, wenn dieses in hoher Temperatur mit einer eisenoxydulreichen Schlacke in Berührung ist. Das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs wächst aber mit der Temperatur in stärkerem Maſse als dasjenige des Eisens, Mangans, Siliciums und anderer Körper (Seite 41); je höher also die Temperatur bei irgendeinem Verfahren der Eisendarstellung ist, desto weniger Kohlenstoff kann das erfolgende Eisen neben einem bestimmten Eisenoxydulgehalte der Schlacke enthalten, oder umgekehrt, desto niedriger muſs der Eisenoxydulgehalt der Schlacke sein, wenn das Eisen einen bestimmten Kohlenstoffgehalt aufnehmen soll. Je kohlenstoff-, silicium- und manganreicher also das erfolgende Roheisen und je höher die Temperatur im Hochofen ist, desto eisenärmer fällt die Schlacke aus, und wie sich beim Hochofenbetriebe fast täglich beobachten läſst, bringt eine Änderung in der Beschaffenheit des einen Erzeugnisses auch sofort eine entsprechende Änderung in der Beschaffenheit des anderen mit sich.

Zahlreiche andere Beispiele der genannten Einflüsse auf die Zusammensetzung der Schlacken werden sich bei Besprechung der einzelnen Verfahren ergeben.

2. Einteilung und Benennung.

Ihrer allgemeinen chemischen Zusammensetzung nach kann man die Schlacken einteilen in

Silikatschlacken mit reichlichem Kieselsäuregehalte (20 v. H. und darüber);

Phosphatschlacken, in welchen die Kieselsäure zum gröſseren Teile durch Phosphorsäure ersetzt ist; und

Oxydschlacken, in welchen nur verhältnismäſsig unbedeutende Mengen von Kieselsäure oder Phosphorsäure auftreten und Oxyde der Metalle, insbesondere der Schwermetalle (Eisen und Mangan), den Hauptbestandteil ausmachen.

Zahlreiche Übergänge von der einen zur anderen Gattung kommen jedoch vor, und scharfe Grenzen lassen sich deshalb nicht ziehen. Ganz reine Phosphat- oder Oxydschlacken kommen überhaupt kaum vor; Silikatschlacken, wenn auch selten ganz rein, da sie fast immer gelöste Sulfide enthalten, sind unter allen die häufigsten.

Da nun von dem Kieselsäuregehalte dieser Silikatschlacken zum groſsen Teil ihre Schmelztemperatur und ihr sonstiges Verhalten in den Schmelzöfen abhängt, ist man seit lange gewohnt, sie gemäſs diesem Kieselsäuregehalte in verschiedene Silicierungsstufen mit bestimmten Benennungen einzuteilen. Man spricht von einem Trisilikat, wenn der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure

dreifach so grofs ist als der der Basen; von einem Bisilikat, wenn die Kielsäure doppelt so viel Sauerstoff als die Basen enthält; von einem Sesquisilikat, wenn der Kieselsäuresauerstoff das Anderthalbfache von dem Basensauerstoffe beträgt; von einem Singulosilikat, wenn in beiden der Sauerstoffgehalt gleich hoch ist. Die Benennungen sind in einer Zeit entstanden, wo man allgemein annahm, dafs, wo Kieselsäure und basische Körper sich vereinigen, durchaus eine engere chemische Verbindung gebildet werden müsse, und obgleich in Wirklichkeit nur bei sehr wenigen Schlacken das Verhältnis der Kieselsäure zu den Basen genau jenen einfachen Verhältnissen entspricht, häufiger sich regellos innerhalb ziemlich weiter Grenzen bewegt, macht man doch auch jetzt noch selbst im Betriebe von den erwähnten Benennungen Anwendung, um allgemein die Zusammensetzung einer Schlacke zu kennzeichnen.

Kieselsäurereichere Schlacken als Trisilikate kommen bei der Eisenerzeugung nicht vor; basischere als Singulosilikate dagegen sind ziemlich häufig und bilden den Übergang zwischen den Silikatschlacken zu den erwähnten Oxydschlacken.

Neben Kalkerde, Magnesia und anderen Basen tritt in fast allen Silikatschlacken Tonerde in gröfserer oder geringerer Menge auf. Die Tonerde, an und für sich keine kräftige Base, beeinflufst in mancher Hinsicht, zumal in basischen Schlacken, deren Verhalten ähnlich wie Kieselsäure; man hat daraus den Schlufs gezogen, dafs die Tonerde in jenen Schlacken eine chemisch gleichwertige (die gleiche Menge Sauerstoff enthaltende) Menge Kieselsäure zu ersetzen fähig sei[1]). Wenn diese Annahme auch nicht in jeder Beziehung volle Bestätigung findet, kann sie doch in gewissen Fällen die Beurteilung des Verhaltens einer Schlacke nach ihrer chemischen Zusammensetzung erleichtern. Besondere Berücksichtigung wird dieser Gegenstand bei Besprechung des Hochofenbetriebes in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde finden.

3. Schmelztemperatur, Schmelzbarkeit und Flüssigkeitsgrad.

Für den Verlauf der Verfahren, bei welchen Schlacken entstehen, ist deren Schmelztemperatur eine der wichtigsten Eigenschaften, und nicht selten ist der Fall, dafs die Durchführung eines Verfahrens unmöglich oder doch erheblich erschwert wird, wenn die Schmelztemperatur der erfolgenden Schlacke zu hoch oder zu niedrig liegt.

In naher Beziehung zu der Schmelztemperatur steht die Schmelzbarkeit. Sie verhält sich umgekehrt wie die Wärmemenge, welche die Schlacke zum Schmelzen gebraucht: je gröfser der Wärmeverbrauch ist, desto höher ist der erforderliche Brennstoffverbrauch für ihre Schmelzung. Jene zum Schmelzen erforderliche Wärmemenge ist von der spezifischen Wärme der Schlacke, ihrer Schmelzwärme (latenten Wärme) und ihrer Schmelztemperatur ab-

---

[1]) Näheres hierüber in den unter Literatur genannten Abhandlungen von Muirhead und Kosmann; ferner in „Stahl und Eisen" 1892, Seite 1.

hängig; je höher die letztere liegt, desto schwerer schmelzbar ist im allgemeinen die Schlacke.

Über die Einflüsse der chemischen Zusammensetzung auf die Schmelztemperatur und Schmelzbarkeit der Schlacken kennen wir fast nur allgemeine Regeln. Dieser Mangel findet eine triftige Begründung in dem Umstande, dafs jede Änderung in der Zusammensetzung der Schlacken, jedes Hinzutreten eines neuen Körpers auch die Schmelztemperatur und Schmelzbarkeit ändert, und dafs sich aus den verschiedenen schlackenbildenden Körpern in verschiedenen Gewichtsmengen eine unbegrenzte Zahl von Vereinigungen bilden läfst. Es kommt hinzu, dafs manche Schlacken, bevor sie völlig starr (oder flüssig) geworden sind, einen zähflüssigen Zustand (wie Pech, Wachs, Glas) durchlaufen, also allmählich aus dem einen in den andern Aggregatzustand übergehen, und es deshalb gar nicht möglich ist, ganz genau den Zeitpunkt festzulegen, wo die Erstarrung oder Schmelzung vor sich geht.

Geht man von der Anschauung aus, dafs die Schlacken Lösungen verschiedener Körper, insbesondere verschiedener Sauerstoffverbindungen ineinander sind, so wird man am leichtesten zu einer richtigen Beurteilung der Einflüsse gelangen, welche hier mafsgebend sind.

Die Lösungsfähigkeit verschiedener Körper ineinander ist bekanntlich verschieden. Unter den in den Schlacken auftretenden Körpern lösen sich Kieselsäure und Phosphorsäure verhältnismäfsig leicht mit Basen; Tonerde bildet Lösungen mit Kalkerde, Magnesia u. a. m., die Aluminate; auch Eisenoxyd und Kalkerde vermögen sich gegenseitig zu lösen[1]). Die Erkennung des Löslichkeitsvermögens dieser Körper wird oft durch den Umstand erschwert, dafs zur Bildung der Lösungen sehr hohe Temperaturen erforderlich sind. Wie diejenigen Lösungen, welche in gewöhnlicher Temperatur flüssig sind, leichter entstehen, wenn mindestens einer der Bestandteile (welchen man in diesem Falle das Lösungsmittel zu nennen pflegt) schon flüssige Form besitzt, so entstehen die Schlacken meistens erst in Temperaturen, bei welchen wenigstens ein Sintern des einen oder andern der zu vereinigenden Körper eintritt. Die gegenseitige Berührung dieser Körper ist im festen Zustande eben zu wenig innig, als dafs Vereinigung, oder wenigstens rasche Vereinigung, stattfinden könnte[2]). Wie aber schon früher hervor-

[1]) Diese früher von Percy, Schinz u. a. beobachtete Tatsache wurde später mehrfach bestätigt. Tholander (Experimentelle Untersuchungen über die Reduktion von Eisenerzen, Seite 119) fand, dafs schon bei einer den Schmelzpunkt des Silbers wenig übersteigenden Temperatur, also bei etwa 1000° C., Eisenoxyd und Kalk vollständig zusammenschmelzen; Wasum hob in einer Arbeit über die Feuerbeständigkeit basischer Baustoffe (Verhandl. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1884, Seite 104) hervor, dafs kalkreiche Ofenfutter durch Eisenoxyde stärker als selbst durch Kieselsäure oder Phosphorsäure angegriffen werden.

[2]) Eine allmähliche Vereinigung ist immerhin auch unterhalb der Schmelztemperatur der einzelnen Bestandteile möglich. Kochsalz und Eis können sich in einer unterhalb Null Grad liegenden Temperatur zu einer flüssigen Lösung vereinigen; aber die Vereinigung vollzieht sich um so langsamer, je weniger innig die beiden Körper gemischt sind, d. h. je weniger Berührungsflächen sie einander darbieten.

gehoben wurde, liegt die Erstarrungstemperatur (oder Schmelztemperatur) der fertiggebildeten Lösung (Schlacke) in der Regel tiefer als die Erstarrungs- oder Schmelztemperatur jedes einzelnen ihrer Bestandteile; man sagt daher mit Recht, dafs die Entstehungstemperatur der Schlacken höher liege als ihre Schmelztemperatur[1]. Je weniger Berührungsoberfläche die einzelnen Körper, aus denen die Schlacke entstehen soll, darbieten, je grofsstückiger sie also sind, desto schwieriger erfolgt die Vereinigung, desto höher liegt die Entstehungstemperatur der Schlacke.

Wenn nun aber bei der Lösung eines Körpers in einem zweiten die Schmelztemperatur der Vereinigung niedriger wird als diejenige der Bestandteile, so mufs es offenbar ein gewisses gegenseitiges Gewichtsverhältnis der ineinander gelösten Körper geben, bei welchem die Schmelz- oder Erstarrungstemperatur ihr niedrigstes Mafs erreicht und durch die Anreicherung des einen wie des andern Bestandteils wieder erhöht wird. Bei verschiedenen Metalllegierungen hat man die der niedrigsten Schmelztemperatur entsprechenden gegenseitigen Gewichtsverhältnisse ermittelt; bei den Schlacken war die Erlangung zuverlässiger Ergebnisse schwieriger wegen der zur Durchführung der Versuche erforderlichen höheren Temperatur. Deutlich aber zeigt sich bei der Schlackenbildung das nämliche Gesetz, welches auch bei den Metalllegierungen und vermutlich auch bei der gröfsten Zahl aller Lösungen überhaupt seine Gültigkeit besitzt: dafs die Schmelz- und Erstarrungstemperatur im allgemeinen um so tiefer liegt, je gröfser die Zahl der in der Vereinigung auftretenden einzelnen Körper ist.

Für die Verfahren der Metallgewinnung ist dieser Umstand von Wichtigkeit. Hochofenschlacken, nur aus Kalkerde und Kieselsäure bestehend, würden oft gar nicht schmelzbar sein; ihr Schmelzpunkt erniedrigt sich, wenn sie noch Magnesia, Tonerde, Eisenoxydul, Manganoxydul aufnehmen. Ähnliche Fälle sind häufig.

Hieraus folgt aber, dafs für die Beurteilung der Schmelzbarkeit einer Schlacke durch die chemische Analyse nicht allein das Verhältnis der Kieselsäure (oder der Kieselsäure nebst Tonerde, unter Umständen, z. B. in der Thomasschlacke, der Kieselsäure neben Phosphorsäure) zu den Basen mafsgebend sein kann, sondern dafs hierbei auch die Zahl der überhaupt nebeneinander auftretenden Bestandteile in Betracht kommt. Je gröfser ihre Zahl ist, desto niedriger liegt im allgemeinen, wie erwähnt, die Schmelztemperatur.

Über die Schmelzbarkeit der Silikatschlacken sind bislang die umfassendsten Versuche durch Akerman angestellt worden[2]. Er ermittelte durch Eingiefsen der geschmolzenen Schlacke in Wasser die von ihr aufgenommene Wärmemenge; je geringer diese ist, desto leichter schmelzbar ist die Schlacke. In naher Beziehung zu

[1]) Dieser von Plattner zuerst aufgestellte Lehrsatz ist von Schinz angefochten worden, hat jedoch vom allgemeinen Gesichtspunkte aus seine vollständ'ge Richtigkeit. Auch Bischof bestätigt in seinen Arbeiten über feuerfeste Tone die Richtigkeit.

[2]) Vergl. Literatur.

der Schmelzbarkeit der Schlacken steht, wie oben erwähnt wurde, ihre Schmelztemperatur; die leichter schmelzbare Schlacke besitzt gewöhnlich die niedrigere Schmelztemperatur[1]).

Aus Åkermans Untersuchungen läfst sich bezüglich des Einflusses eines verschiedenen Kieselsäuregehalts folgern, dafs unter den tonerdefreien oder tonerdearmen Silikaten der Kalkerde und Magnesia zwar im allgemeinen diejenigen am

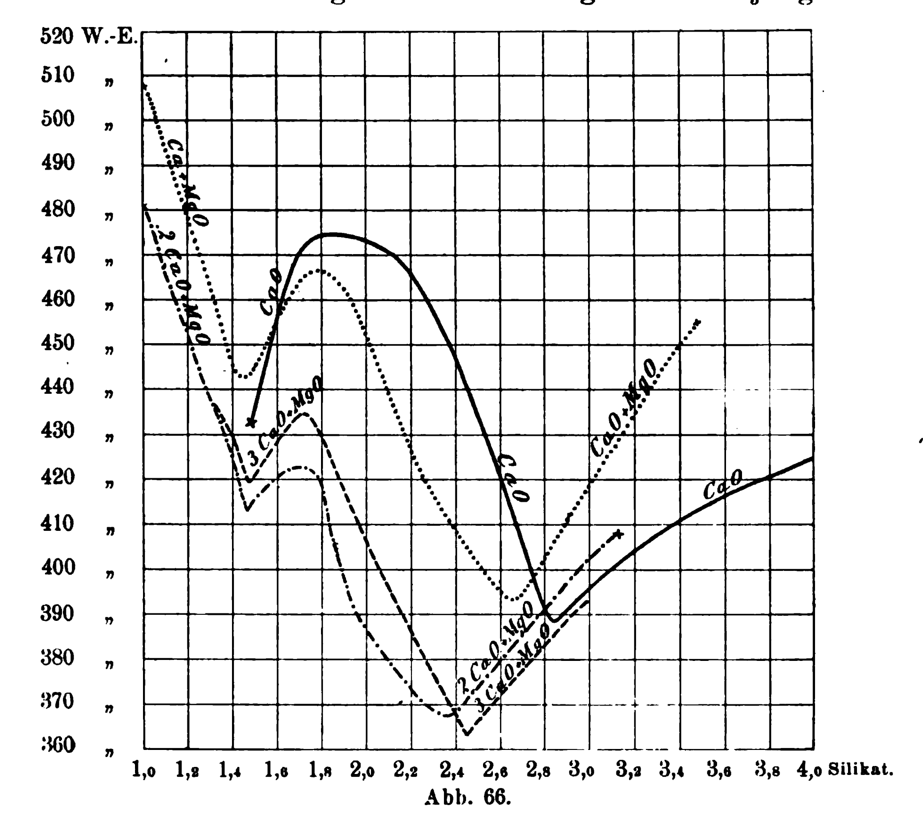


Abb. 66.

leichtschmelzigsten sind, welche zwischen Bi- und Trisilikat stehen, und dafs sowohl mit zunehmendem Basen- als zunehmendem Kieselsäuregehalte der zum Schmelzen erforderliche Wärmebedarf steigt, dafs aber seltsamerweise auch die Silikate, in welchen das Sauerstoffverhältnis der Kieselsäure zu den Basen = 1,5 ist (Sesquisilikate), sich durch Leichtschmelzbarkeit sowohl vor den basischeren als vor den etwas kieselsäurereicheren Silikaten auszeichnen, indem sie selbständig aus der Reihe heraustreten. Die in Abb. 66 verzeichneten Schaulinien der Schmelzbarkeit sowohl der reinen Kalk-

[1]) Über die Entstehungstemperatur dieser und anderer Schlacken vergl. Hofmanns unter Literatur genannte Arbeit. Wie erwähnt, ist jedoch die Entstehungstemperatur auch von der ursprünglichen Form der Schlackenbildner abhängig.

silikate als dreier verschiedener Kalkmagnesiasilikate lassen diese Tatsache erkennen. Die Angaben CaO, CaO + MgO u. s. f. neben den Linien bezeichnen das Verhältnis zwischen Kalk- und Magnesiamolekülen. Die mit CaO bezeichnete Linie gibt das Verhalten des reinen Kalksilikats mit verschiedenem Kieselsäuregehalte an; in den Silikaten der Linie CaO + MgO ist ein Molekül Kalkerde neben einem Molekül Magnesia zugegen (oder die Menge des Kalkerdesauerstoffs ist gleich der des Magnesiasauerstoffs) u. s. f.; das Verhältnis des Kieselsäuresauerstoffs zum Basensauerstoff ist in der Abscisse, die von der geschmolzenen Schlacke aufgenommene Wärmemenge in der Ordinate angegeben. Die Übereinstimmung der vier Linien gibt den Beweis, dafs keine Täuschung bei den Versuchen obwaltete.

Geht der Kieselsäuregehalt unter den des erwähnten Sesquisilikats herunter, so nimmt die Strengflüssigkeit der Schlacke rasch zu. Die Singulosilikate sind durchweg schwerer schmelzbar als selbst die kieselsäurereichsten der untersuchten Schlacken.

In Hundertteilen des Schlackengewichts ausgedrückt beträgt der Kieselsäuregehalt der am leichtesten schmelzbar gefundenen Schlacken:

	CaO	3Ca+MgO	2CaO+MgO	Ca+MgO
bei den 1,5 Silikaten . .	45 v. H.	46,8 v. H.	47,1 v. H.	48,4 v. H.
bei den noch leichter schmelzbaren Silikaten zwischen Bi- und Trisilikat	61 „ „	59,1 „ „	58,8 „ „	63,9 „ „

Unter den tonerdefreien Kalkmagnesiaschlacken sind demnach solche mit ungefähr 60 v. H. Kieselsäure am leichtesten schmelzbar, und unter den basischeren Schlacken dieser Gruppe zeichnen sich solche mit ungefähr 47 v. H. Kieselsäure durch Leichtschmelzbarkeit aus.

Der Einflufs eines wechselnden Verhältnisses zwischen Kalkerde und Magnesia auf die Schmelzbarkeit der gleichen Silicierungsstufe ist durch die Schaulinien Abb. 67 dargestellt. Die Abscisse gibt das Verhältnis des Magnesiasauerstoffs zum Kalkerdesauerstoffe (oder der Magnesiamoleküle zu den Kalkerdemolekülen) an. Es zeigt sich deutlich, dafs die reinen Kalkerdesilikate leichter schmelzbar werden, wenn ein gewisser Teil der Kalkerde durch Magnesia ersetzt wird. Sehr bedeutend ist diese Erhöhung der Schmelzbarkeit bei dem 2- und 2,5-Silikate, weniger erheblich bei dem 1,5- und 3-Silikate. Ziemlich bald aber tritt die Grenze ein, wo eine fernere Erhöhung des Magnesiagehalts unter entsprechender Abminderung des Kalkerdegehalts die Schlacke nicht mehr leichter, sondern schwerer schmelzbar macht, und bald nachdem das Verhältnis $\frac{MgO}{CaO} = 1$ überschritten ist (bei dem 1,5- und 3-Silikate noch früher), werden die Kalk-Magnesiasilikate schwerer schmelzbar als selbst das reine Kalksilikat. Den tiefsten Stand zeigen die Schaulinien der 1,5- und 2-Silikate bei dem Verhältnisse $\frac{MgO}{CaO} = 0{,}44$ oder 9 CaO + 4 MgO. Auf 1 Gewichtsteil Magnesia müssen demnach in derartigen Schlacken ungefähr 3 Ge-

wichtsteile Kalkerde kommen, wenn sie möglichst leicht schmelzbar sein sollen. Bei den kieselsäurereicheren Schlacken tritt die Grenze bei noch niedrigerem Magnesiagehalte ein, und zwar ist das Gewichtsverhältnis (nicht das Molekülverhältnis) der Magnesia zur Kalkerde bei dem leichtschmelzigsten 2,5-Silikate ungefähr 1 : 6, bei dem Trisilikate ungefähr 1 : 12.

Der Einflufs eines zunehmenden Tonerdegehalts in Kalksilikaten ist durch die Schaulinien Abb. 68 auf Seite 214 dargestellt[1]). In der Abscisse ist das Verhältnis des Sauerstoffs der

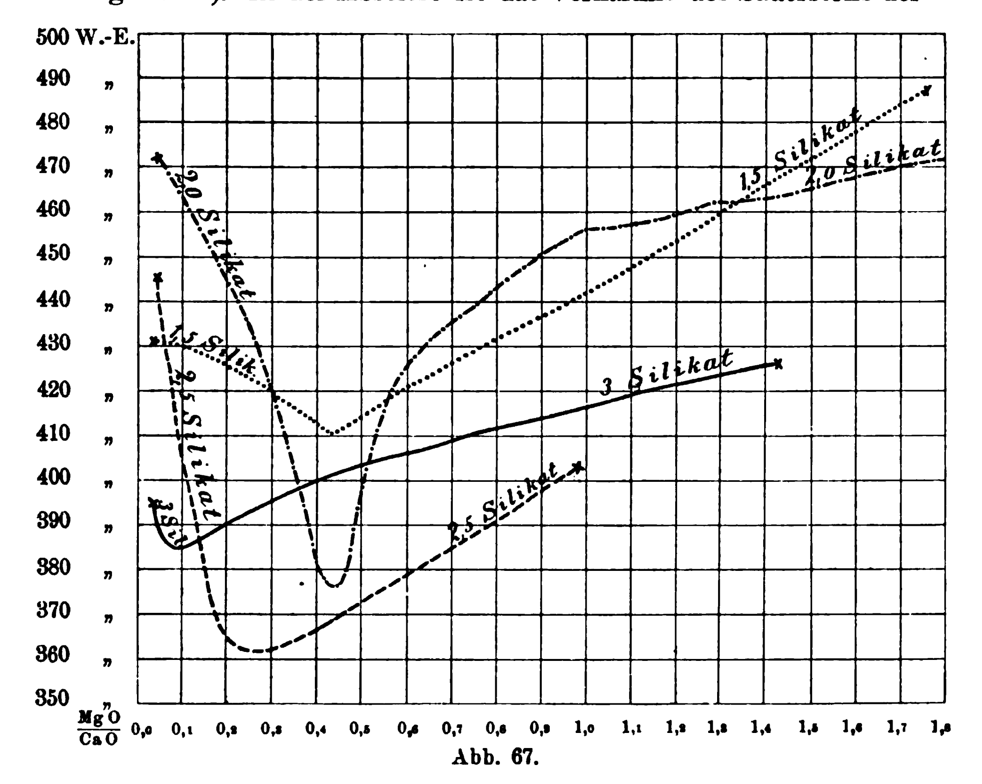


Abb. 67.

Tonerde zum Sauerstoffe der Kalkerde angegeben; die Bezeichnungen der Silicierungsstufe bei den einzelnen Linien beziehen sich auf das Verhältnis des Kieselsäuresauerstoffs zum Sauerstoffe der Kalkerde nebst Tonerde.

Die Linien lassen bei allen Silikaten, auch bei den kieselsäurereichsten, eine starke und rasche Abnahme der Strengflüssigkeit — Erhöhung der Leichtschmelzbarkeit — erkennen, wenn gewisse Mengen Kalkerde durch Tonerde ersetzt werden, und ein Vergleich

---

[1]) In Åkermans Arbeit sind auch die Schaulinien für 0,5-, 1,5- und 2,5-Silikate angegeben. Da ihr Verlauf sich nicht wesentlich von dem der hier verzeichneten unterscheidet, sind sie zur Erleichterung der Übersichtlichkeit weggelassen.

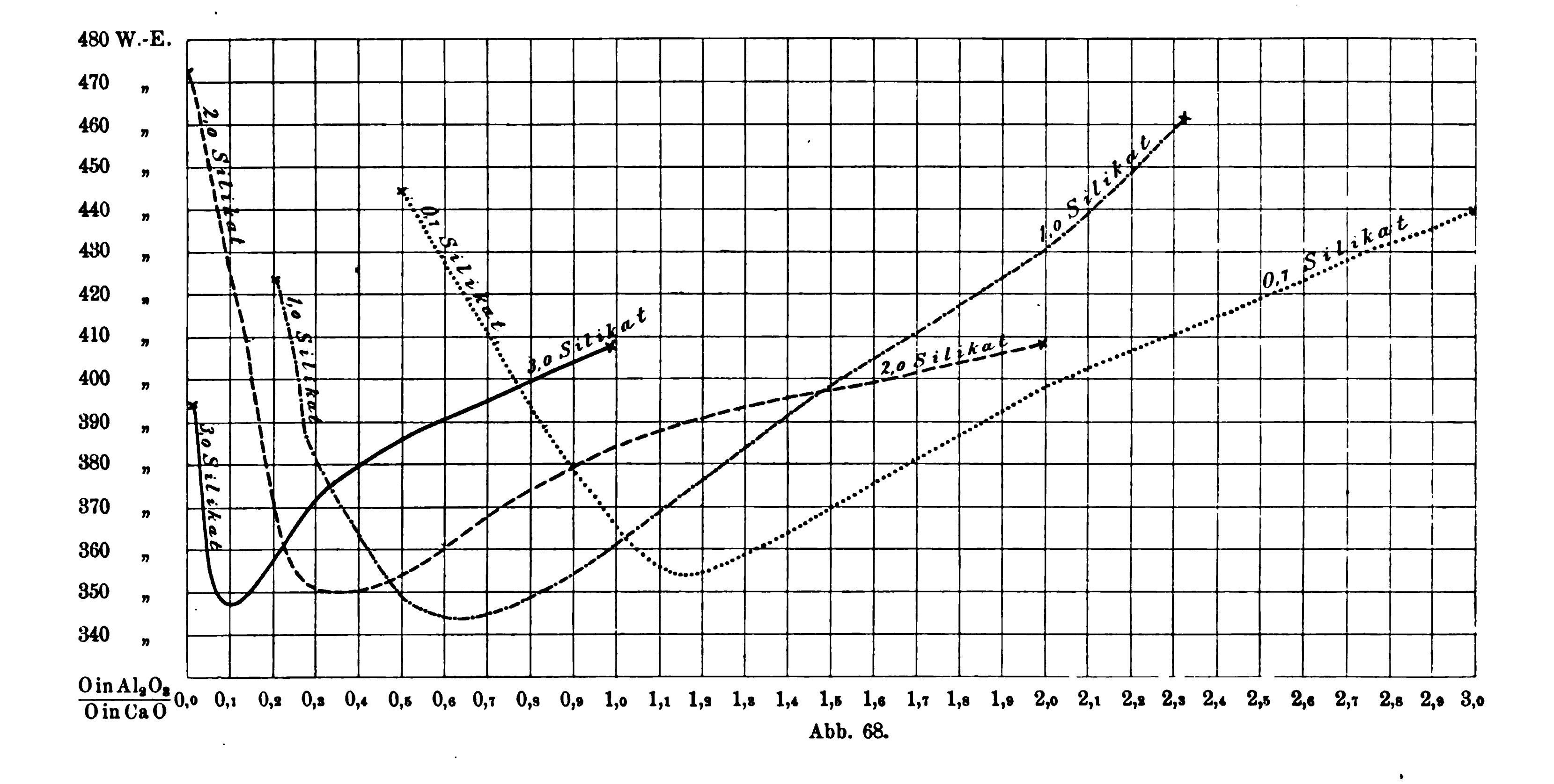

480 W.-E.
470 „
460 „
450 „
440 „
430 „
420 „
410 „
400 „
390 „
380 „
370 „
360 „
350 „
340 „
O in Al₂O₃ / O in CaO
0,0 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5 1,6 1,7 1,8 1,9 2,0 2,1 2,2 2,3 2,4 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 3,0
2,0 Silikat
3,0 Silikat
1,0 Silikat
0,1 Silikat
3,0 Silikat
1,0 Silikat
2,0 Silikat
0,1 Silikat

Abb. 68.

der Ziffern, welche die aufgenommenen Wärmemengen angeben, mit den gleichen Ziffern der Kalk-Magnesiareihe in Abb. 67 zeigt, dafs man durch einen bestimmten Tonerdezusatz zu Kalksilikaten noch leichter schmelzbare Schlacken erzeugen kann als durch Magnesiazusatz. Auch das tonerdehaltige Trisilikat ist leichter schmelzbar als das magnesiahaltige. Je kieselsäurereicher aber die Schlacken sind, desto früher tritt die Grenze ein, wo mit zunehmendem Tonerdegehalte die Schlacke nicht mehr leichter, sondern schwerer schmelzbar wird. Das Gewichtsverhältnis der Tonerde zur Kalkerde, bei welchem die verschiedenen von Åkerman untersuchten Silikate sich am leichtesten schmelzbar erwiesen, beträgt annähernd:

bei	dem	$0{,}5$-Silikate		7 : 5
„	„	$0{,}7$	„	7 : 8
„	„	$1{,}0$	„	1 : 2
„	„	$1{,}5$	„	1 : $4{,}5$
„	„	$2{,}0$	„	1 : 6
„	„	$2{,}5$	„	1 : 13
„	„	$3{,}0$	„	1 : 30.

Das heifst: je kieselsäureärmer eine Schlacke ist, desto tonerdereicher mufs sie sein, um sich als leichtschmelzig zu erweisen. In diesem allgemeineren Sinne findet daher jene oben erwähnte Theorie von dem Ersatze der Kieselsäure durch Tonerde ihre Bestätigung.

Auch die über den Einflufs eines Manganoxydulgehalts in Kalkerdesilikaten von Åkerman angestellten Versuche bestätigten die allgemeine Regel, nach welcher eine Schlacke leichter schmelzbar wird, wenn ein neuer Körper aufgenommen wird; d. h. in diesem Falle, wenn ein Teil der Kalkerde durch eine chemisch gleichwertige Menge Manganoxydul ohne Änderung des Silicierungsgrades ersetzt wird. Die Schaulinien in Abb. 69 auf S. 216 zeigen diesen Einflufs. In der Abscisse ist wiederum das Verhältnis des Manganoxydulsauerstoffs zum Kalkerdesauerstoff (oder der Manganoxydulmoleküle zu den Kalkerdemolekülen) angegeben. Das Schaubild läfst zunächst erkennen, dafs die reinen Mangansilikate mit alleiniger Ausnahme des Trisilikats leichter schmelzbar sind als die reinen Kalkerdesilikate, aber schwerer schmelzbar als die Silikate, in welchen beide Basen in entsprechendem gegenseitigen Gewichtsverhältnisse anwesend sind. Setzt man an Stelle des Molekülverhältnisses zwischen Kalkerde und Manganoxydul das Gewichtsverhältnis ein, so erhält man folgende Zusammensetzung der am leichtesten schmelzbaren Silikate, ausgedrückt in Hundertteilen des Gesamtgewichts:

	SiO_2	MnO	CaO
$3{,}0$-Silikat	$59{,}2$	$18{,}6$	$22{,}2$
$2{,}5$ „	$53{,}6$	$30{,}4$	$16{,}0$
$2{,}0$ „	$46{,}8$	$44{,}4$	$8{,}8$
$1{,}5$ „	$40{,}0$	$50{,}3$	$9{,}8$
$1{,}0$ „	$30{,}4$	$61{,}1$	$8{,}5$.

Je basischer demnach die Schlacken sind, desto höher mufs ihr Manganoxydulgehalt sein, um sie möglichst leichtschmelzig zu machen.

Nach Maſsgabe des oben besprochenen Einflusses eines Magnesia- und Tonerdegehalts auf die Kalkerdesilikate ist es nicht zweifelhaft, daſs auch die Kalkerde-Manganoxydulsilikate noch leichter schmelzbar werden können, wenn ein Teil der Kalkerde durch Magnesia, ein Teil der Kieselsäure durch Tonerde ersetzt wird.

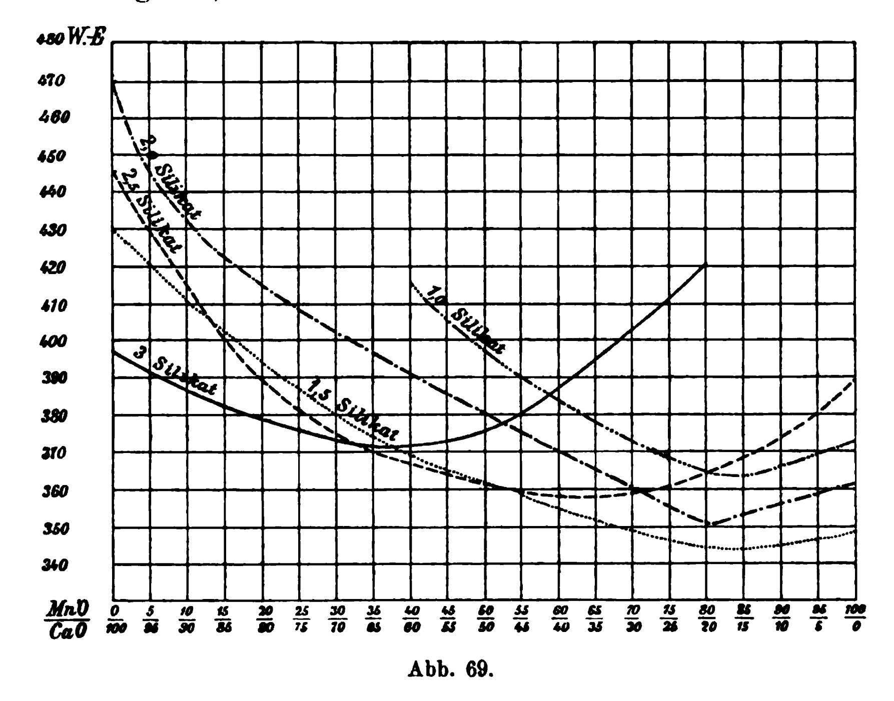


Abb. 69.

Über den Einfluſs eines **Eisenoxydulgehalts** auf die Schmelzbarkeit der Schlacken liegen nur vereinzelte, nicht immer ganz zuverlässige Ermittelungen vor[1]); aus den Beobachtungen im Betriebe wie aus der Ähnlichkeit des allgemeinen chemischen Verhaltens des Eisen- und Manganoxyduls läſst sich folgern, daſs Eisenoxydul ähnliche, aber nicht ganz so kräftige Einflüsse auf die Eigenschaften der Schlacken, insbesondere auf ihre Schmelzbarkeit, ausübt, wie Mangan[2]). Wie diese Einflüsse sich ändern, wenn neben Eisenoxydul auch Eisenoxyd auftritt (in stark basischen Schlacken, z. B. Puddelschlacken, Schweiſsofenschlacken), ist durch Versuche noch nicht festgestellt worden; jedenfalls sind den Beobachtungen im Betriebe gemäſs derartige Schlacken ziemlich strengflüssig.

---

[1]) Annales des mines, Reihe 7, Bd. 4, Seite 241 (Gruner); Dinglers polytechn. Journal, Bd. 165, Seite 379 (Bischof).

[2]) Nach Vogt (Die Silikatschmelzlösungen II, Seite 232) bewirkt Eisenoxydul regelmäſsig eine bedeutende Erniedrigung des Erstarrungspunkts von Silikaten, welche Kalkerde, Magnesia und Tonerde enthalten.

Einem Titansäuregehalte schrieb man früher die Einwirkung zu, die Schlacken sehr strengflüssig zu machen. In der Tat fand Åkerman bei seinen erwähnten Untersuchungen, dafs zwei Hochofenschlacken mit nachstehender Zusammensetzung

	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO
Schlacke von Mobro .	37,05	10,22	7,48	15,05	27,65	0,45	2,34
„ „ Lindefors	39,20	8,50	9,59	12,65	27,25	0,53	1,54

strengflüssiger waren, als die meisten sonstigen von ihm untersuchten Hochofenschlacken, und zwar war die Schlacke von Lindefors am strengflüssigsten[1]; betrachtet man indes etwas näher die Zusammensetzung dieser Schlacken (annähernd Singulosilikate, sofern man Tonerde und Titansäure den Basen zurechnet), so findet man ein so ungünstiges Verhältnis der Magnesia zur Kalkerde, dafs vornehmlich hierin und nicht in dem Titansäuregehalte die Ursache der Schwerschmelzbarkeit zu suchen ist. Reine Kalkerde-Magnesiasilikate mit dem gleichen Gewichtsverhältnisse der beiden Basen sind kaum schmelzbar (vergleiche oben Abb. 67).

Dagegen fand Rossi bei Schmelzversuchen mit titanreichen Erzen im Hochofen[2]), dafs die hierbei entstehenden, als Basen Tonerde, Kalkerde, Magnesia und kleine Mengen Eisenoxydul enthaltenden Schlacken leicht schmelzbar sind, wenn das Verhältnis des Sauerstoffs der Kieselsäure nebst Titansäure zu dem Sauerstoff der genannten Basen annähernd 4 : 3 beträgt, dafs sie aber rascher als reine Silikate strengflüssig werden, wenn der Basengehalt über jenes Verhältnis hinaus zunimmt. Ein geringer Magnesiagehalt neben Kalkerde erhöht, wie in den titansäurefreien Silikaten, die Schmelzbarkeit. So z. B. erwiesen sich Schlacken von folgender Zusammensetzung als durchweg leicht schmelzbar:

TiO_2	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	Sauerstoffverhältnis $\frac{SiO_2,\ TiO_2}{Al_2O_3,\ CaO,\ MgO,\ FeO}$
26,81	20,59	10,17	20,60	10,24	6,90	1,25
28,48	16,00	12,00	26,00	10,00	6,50	1,74
32,90	14,82	10,45	21,02	9,50	4,50	1,88
34,50	18,00	12,70	27,60	10,00	—	1,83
38,20	11,94	15,00	23,40	6,50	5,00	1,29
40,50	15,60	10,00	24,00	8,00	2,00	1,60

Das Gewichtsverhältnis der Magnesia zur Kalkerde und der Tonerde zu den übrigen Basen bewegt sich bei allen diesen Schlacken innerhalb jener Grenzen, bei welchen nach den auf Seite 212 gegebenen Mitteilungen verhältnismäfsig leicht schmelzbare Schlacken entstehen können.

Fluorcalcium (Flufsspath) und Chlorcalcium machen, wenn sie von Silikatschlacken aufgenommen werden, diese leichter schmelzbar. Wissenschaftliche Untersuchungen über den Schmelzwärmebedarf solcher Schlacken liegen zwar nicht vor, aber im Be-

[1]) Wärmeverbrauch zum Schmelzen der Schlacke von Mobro 433 W.-E., der Schlacke von Lindefors 463 W.-E., sonstiger Hochofenschlacken ohne Titansäure 340—458 W.-E.; mittlerer Wärmebedarf bei 74 Schlacken 388 W.-E.

[2]) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 310.

triebe macht man bisweilen mit Erfolg Anwendung von jenem Einflusse der genannten Körper, wenn die Aufgabe vorliegt, stark basische, insbesondere kalkreiche, aber nicht zu schwierig schmelzbare Schlacken zu bilden.

Unmittelbare Ermittelungen der Schmelztemperaturen von Schlacken bestimmter Zusammensetzung sind nur vereinzelt angestellt worden. Die meisten Schlacken der Eisendarstellung schmelzen, d. h. werden vollständig flüssig in Temperaturen zwischen 1100° C. und 1400° C.[1]).

Häufiger hat man versucht, die Entstehungstemperatur der Schlacken zu bestimmen, indem man die verschiedenen Bestandteile mischte und bis zum eintretenden Schmelzen erhitzte. Für den Verlauf mancher Verfahren, z. B. des Hochofenschmelzens, ist in Wirklichkeit diese Entstehungstemperatur von nicht minderer Bedeutung als die Schmelztemperatur. Wie aber schon oben erwähnt wurde, ist die Entstehungstemperatur nicht allein von der chemischen Zusammensetzung sondern auch von der äufseren Form abhängig, welche die Bestandteile vor ihrer Vereinigung besitzen. Je inniger sie sich gegenseitig berühren, desto leichter lösen sie sich ineinander, desto niedriger ist die Entstehungstemperatur. Deshalb besitzen derartige Ermittelungen nur beschränkten Wert, und die Ergebnisse sind geeignet, leicht zu Trugschlüssen zu verleiten.

Eine mit der Schmelzbarkeit verwandte Eigenschaft ist der Flüssigkeitsgrad oder die Dünnflüssigkeit geschmolzener Körper. Die in niedrigerer Temperatur schmelzbaren Körper sind jedoch keineswegs immer die dünnflüssigeren. Je allmählicher der Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand stattfindet, desto weniger dünnflüssig pflegt der geschmolzene Körper zu sein.

Schlacken, welche allmählich erweichen, dabei einen bildsamen Zustand durchlaufend, in welchem sie wie erhitztes Glas sich in Formen drücken und zu langen Faden ausziehen lassen, nennt man zäh. Hierher gehören vornehmlich die kieselsäurereicheren und zugleich tonerdehaltigen Kalkerde-Magnesiasilikate (Bi- und Trisilikate). Mit dem Tonerdegehalte dieser Silikate wächst im allgemeinen das Mafs dieser Eigenschaft.

Schlacken, welche, ohne einen teigartigen Zustand zu durchlaufen, ihren Aggregatzustand plötzlich wechseln, heifsen kurz. Besonders deutlich zeigen kalkerdereiche und zugleich tonerdearme Schlacken dieses Verhalten. Im geschmolzenen Zustande sind sie dünnflüssiger als jene zähen Schlacken, auch wenn ihre Schmelztemperatur höher liegt.

Eisenoxydul und mehr noch Manganoxydul erhöhen die Dünnflüssigkeit derjenigen Schlacken, welche als Hauptbestandteile Kieselsäure, Tonerde, Kalkerde und Magnesia enthalten, sei es, dafs diese sämtlichen genannten Körper oder nur einzelne zugegen sind. Basische Schlacken mit einem gröfsern Gehalte an Eisen- oder Manganoxydul erstarren weniger plötzlich als solche ohne diesen Gehalt,

[1]) Einige Beispiele sind in Vogts mehrfach genanntem Werke: Die Silikatschmelzlösungen II, Seite 231 gegeben.

sie sind weniger kurz; bei kieselsäurereichen, zähen Schlacken dagegen läfst sich deutlich eine Abminderung ihrer Fähigkeit, Faden zu ziehen, also ihrer Zähigkeit, erkennen, wenn sie Gelegenheit fanden, auch nur beschränkte Mengen der genannten Körper aufzunehmen.

Titansäurereiche Schlacken erwiesen sich nach Rossis oben erwähnten Versuchen als sehr dünnflüssig.

4. Das Gefüge.

Dem Aussehen der Bruchfläche gemäfs kann man glasige Schlacken, derbe oder steinige Schlacken und kristallinische Schlacken unterscheiden.

Die Beschaffenheit des Gefüges ist teils von der chemischen Zusammensetzung, teils von den Abkühlungsverhältnissen abhängig.

Glasige Beschaffenheit erhalten nur die kieselsäurereicheren Schlacken bei nicht allzu verlangsamter Kühlung. Einen Übergang zwischen den glasigen zu den steinigen Schlacken, jedoch den ersteren näherstehend, bilden die sogenannten Emailschlacken, schwach durchscheinend, hell gefärbt, gewöhnlich mit reicherem Gehalte an Tonerde.

Langsame Abkühlung verwandelt eine glasige Schlacke in eine steinige oder kristallinische.

Daher zeigt nicht selten die Bruchfläche gröfserer erstarrter Schlackenstücke ein abweichendes Aussehen an verschiedenen Stellen; äufserlich, wo rasche Abkühlung stattfand, glasige, im Innern kristallinische Beschaffenheit.

Schlacken, welche auch bei rascher Abkühlung steinige Beschaffenheit behalten, sind in der Regel reich an Erden. Bei grofsem Gehalte an Eisenoxyden zeigen die Schlacken eine derbe, dichte, mehr metall- als steinartige Bruchfläche (Puddel- und Frischfeuerschlacken, Schweifsofenschlacken).

Ausgebildete Kristalle entstehen nur bei allmählicher Abkühlung in den Drusenräumen, welche im Innern gröfserer Schlackenstücken sich bilden. Nicht alle Schlacken jedoch kristallisieren mit derselben Leichtigkeit. Sehr kieselsäurereiche Schlacken z. B., welche vor dem Erstarren einen teigartigen Zustand durchlaufen und nach dem Erstarren glasartige Beschaffenheit besitzen, liefern selten ausgebildete Kristalle. Eisenoxydulreiche Schlacken kristallisieren dagegen leicht; schön ausgebildete Kristalle finden sich auch in manchen zwischen Singulo- und Bisilikat stehenden Schlacken der Erden[1]).

Dafs dagegen einzelne Bestandteile der Schlacken im kristallisierten Zustande inmitten der nichtkristallisierenden Grundmasse beim Erstarren ausscheiden können und hier entweder ohne weiteres mit unbewaffnetem Auge oder auch in Dünnschliffen mit Hilfe des Mikroskops erkennbar sind, wurde schon erwähnt.

Sehr kalkreiche und tonerdearme Schlacken, zumal Hochofenschlacken, besitzen die Neigung, schon beim Abkühlen zu Pulver

---

[1]) Über die in solchen Schlacken besonders häufig vorkommenden Kristallformen und die Abhängigkeit dieser Kristallformen von der chemischen Zusammensetzung vergl. „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 392 (Åkerman).

zu zerfallen. Nach Platz[1]) beträgt der Gehalt solcher Schlacken an Basen mit Ausschluſs der Tonerde mindestens 45 v. H.; ein hoher Magnesiagehalt neben verhältnismäſsig wenig Kalk verhindert das Zerfallen; auch durch rasche Abkühlung läſst sich das Zerfallen verhüten. Die Ursache des Zerfallens ist, wie Platz nachweist, eine Ausscheidung von Kalk aus der im überhitzten Zustande mit Kalk gesättigten Lösung. Wie aus einer in der Wärme gesättigten Kochsalzlösung beim Abkühlen zunächst Kochsalz ausscheidet, bis zuletzt die eutektische Lösung mit 23,5 v. H. Kochsalz erstarrt (Seite 206), so scheidet hier Kalk und vielleicht auch ein Teil der verwandten Basen aus. Das Ganze zerfällt bald nach dem Erstarren, weil der reichlich ausgeschiedene Kalk den Zusammenhang unterbricht.

Solche Pulverschlacken lassen sich, mit Wasser und Sand vermengt, wie gelöschter Kalk als Mörtel verwenden.

Manche zähe, an Eisen- oder Manganoxydul arme Schlacken, insbesondere kieselsäurereiche Schlacken aus Holzkohlenhochöfen, blähen sich, wenn sie im flüssigen Zustande mit Wasser begossen werden, stark auf, dabei eine bimssteinartige Beschaffenheit annehmend. Man benutzt dieses Verhalten bisweilen zur Darstellung künstlichen Bimssteins, welcher als Schleifmittel für Holz benutzt wird. Solche Bimssteinschlacken lassen oft nach vielen Jahren einen deutlich wahrnehmbaren Geruch nach Schwefelwasserstoff erkennen, durch Zersetzung vorhandenen Schwefelcalciums entstanden.

5. Die Farbe.

Mannigfaltig sind die Farben der in den Eisenhütten erfolgenden Schlacken. Zwischen dem fast reinen Porzellanweiſs bis zum Tiefschwarz sind fast alle Farbentöne in Blau, Grün, Violett, Rot usw. vertreten. Selten kommen rein gelbe Schlacken vor; deutlich rote Schlacken finden sich mitunter, sind aber ebenfalls selten; am häufigsten sind grünliche und schwarze Schlacken.

Wie das Gefüge hängt die Farbe der Schlacken ab teils von der chemischen Zusammensetzung, teils von den Abkühlungsverhältnissen. Eine und dieselbe Schlacke kann verschiedene Farbe annehmen, je nachdem sie rasch abgekühlt wird und dabei glasig wird, oder bei verzögerter Abkühlung mit kristallinischem Gefüge erstarrt. So findet man Schlacken mit grüner, glasiger Rinde und violettgrauem, kristallinischem Kern, oder mit violetter Kruste und weiſslichgrauem Kern; aber die chemische Zusammensetzung der Rinde ist die nämliche wie die des Kerns. Auch entstandene Kristalle besitzen nicht selten eine wesentlich andere Farbe als die Grundmasse, aus der sie entstanden.

So z. B. zeigte eine Martinschlacke, als Probe in eine eiserne Form ausgegossen, an den rascher erkalteten Stellen, also rings am Umfange, glasige Beschaffenheit bei olivengrüner Farbe; der langsamer erkaltete Kern dagegen war steinig, undurchsichtig und schwarz von Farbe. Die von mir angestellte Untersuchung beider Teile ergab:

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 7.

	in dem rasch erkalteten grünen Teile	in dem langsam erkalteten schwarzen Teile
Kieselsäure	48,08	48,10
Tonerde	1,60	1,85
Eisenoxydul	16,28	16,66
Manganoxydul	31,58	31,67
Kalkerde	nicht bestimmt	1,08

Die Schlacke eines Holzkohlenhochofens, welche, vermutlich auf einer eisernen Fufsbodenplatte, äufserlich rasch, im Innern allmählich erkaltet war, zeigte äufserlich glasige Beschaffenheit und lichtgrüne Farbe, während der Kern körnig-kristallinisches Gefüge besafs und schön ultramarinblau gefärbt war. Selbst im gepulverten Zustande behielt der Kern eine deutlich blaue Färbung bei. Die Untersuchung lieferte folgende Ergebnisse:

	rasch erkaltet, grün	langsam erkaltet, blau
Kieselsäure	43,48	43,88
Tonerde	17,80	17,28
Eisenoxydul	1,05	4,64
Manganoxydul	2,09	2,41
Kalkerde	33,80	31,57
Magnesia	—	Spur
Schwefel	nicht bestimmt	nicht bestimmt
Alkalien und Verlust . . .	2,38	0,77

Ein ziemlich deutlicher Unterschied zeigt sich hier im Eisengehalte, welcher in dem langsamer erkalteten Teile viermal so hoch ist als in dem rascher erkalteten, während letzterer sich entsprechend reicher an Kalkerde und Alkalien erwies. Immerhin ist der Unterschied in der gesamten Zusammensetzung der beiden Teile auch hier nicht bedeutend genug, um allein die erheblichen Abweichungen ihrer physikalischen Eigenschaften zu erklären, sondern die verschiedene Anordnung der Moleküle bei langsamer und rascher Abkühlung ist die eigentliche Ursache.

Die Einflüsse, welche die verschiedenen Bestandteile der Schlacke auf ihre Färbung ausüben, sind nur zum Teile bekannt.

Schlacken, welche frei sind von Eisen- und Manganoxyden, also nur aus Silikaten der Erden bestehen, haben durchgängig helle, weifsliche Farben.

Ein Eisenoxydulgehalt erteilt schon in geringen Mengen *grünliche* Färbung, welche besonders in Bi- und Trisilikaten deutlich hervortritt. Steigt der Eisenoxydulgehalt, so wird die Schlacke *schwarz*.

Manche basische Schlacken zeigen auch schon bei geringem Eisenoxydulgehalte schwarze Farbe. Sie sind gewöhnlich reich an Schwefel; ob hierin die Ursache der dunkeln Färbung zu suchen ist, möge unentschieden bleiben.

Ein Manganoxydulgehalt neben Eisenoxydul ruft *gelblich-grüne* Farbentöne (gurkengrün, olivengrün) hervor; sehr manganreiche, übrigens aber nicht allzu basische Schlacken, im flüssigen Zustande der Luft ausgesetzt, laufen äufserlich schwarz an und überziehen sich mit einem irisierenden Häutchen.

Ein mäfsiger Manganoxydulgehalt neben wenig Eisenoxydul erteilt kieselsäurereicheren und zugleich Tonerde enthaltenden Schlacken (Bi- und Trisilikaten), soweit meine eigene Beobachtung reicht, blaue Farbentöne[1]).

Nicht selten benutzt der Eisenhüttenmann die Farbe der bei diesem oder jenem Verfahren entstehenden Schlacken als Merkmal für dessen Verlauf. Zu wissen, welchen inneren Ursachen die betreffende Farbe entspringt, ist hierbei nicht einmal erforderlich; es genügt, durch die Beobachtung festzustellen, dafs die Farbe so oder so sein mufs, wenn das Verfahren in befriedigender Weise verläuft, und dafs Abweichungen von dieser Farbe auf gewisse Störungen hindeuten.

6. Spezifisches Gewicht.

Gemäfs der verschiedenen chemischen Zusammensetzung der Schlacken bewegt sich ihr spezifisches Gewicht innerhalb ziemlich weiter Grenzen. Am schwersten sind die an schweren Oxyden reichsten Schlacken (Eisenoxydschlacken), deren spezifisches Gewicht bis 5,0 steigen kann, während die erdigen Schlacken, besonders die an Kieselsäure reicheren (Trisilikate), oft nur ein spezifisches Gewicht von 2,5—3,0 besitzen.

Literatur.

A) Einzelne Werke.

Percy-Knapp, Metallurgie, Seite 22—51 (enthält Mitteilungen über ältere, das Verhalten der Schlacken betreffende Versuche).

K. C. v. Leonhard, Hüttenerzeugnisse und andere auf künstlichem Wege gebildete Mineralien als Stützpunkte geologischer Hypothesen. Stuttgart 1858. (Empfehlenswerte Schrift über Gefüge, Kristallisation usw.)

P. Berthier, Traité des essais par la voie sèche. Paris 1848.

H. Freiherr von Jüptner, Grundzüge der Siderologie. Leipzig 1900. Erster Teil, Seite 247.

J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen mit besonderer Rücksicht auf die Mineralbildung und die Schmelzpunkterniedrigung. Christiania 1904.

B) Abhandlungen.

Sefström, Versuche über die Bildung und Eigenschaften der in den Eisenhochofenschlacken vorkommenden Verbindungen und deren Einflufs bei der Roheisenerzeugung. Erdmanns Journal für technische und ökonomische Chemie, Bd. 10 (1831), Seite 145; aus Jernkontorets Annaler, Jahrgang 12.

P. Berthier, Über das Verhalten einiger Mischungen von Erden und anderen Basen im Feuer, besonders über die künstliche

[1]) Dafs möglicherweise die schöne blaue Farbe mancher Schlacken aus mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen auch noch anderen Ursachen entstammen könne, soll nicht bestritten werden. Gerade diese Farbe hat schon öfters Veranlassung zu Untersuchungen gegeben, ohne dafs vollständige Aufklärung erreicht worden wäre. Häufig hat man die Anwesenheit von Titansäure in den Schlacken als die Ursache der Blaufärbung angesehen, aber manche blau gefärbte Schlacken erwiesen sich völlig frei von Titansäure. Vergl. hierüber die gegebenen Literaturnachweise.

Darstellung einiger Silikate und Aluminate. Erdmanns Journal für praktische Chemie, Bd. 4, Seite 457; Bd. 5, Seite 273.

C. Fr. Plattner, Über die Bestimmung der Schmelzpunkte mehrerer Hüttenprodukte und der Hitzegrade, bei denen sich verschiedene Silikate bilden. Beilage zu dem Werke von F. Th. Merbach: Die Anwendung der erwärmten Luft im Gebiete der Metallurgie. Leipzig 1840.

C. Rammelsberg, Beiträge zur Kenntnis der Hochofenschlacken. Poggendorffs Annalen, Bd. 124, Seite 95; Berg- u. hüttenmänn. Zeitung 1848, Seite 477.

C. Bischof, Relative Schmelzbarkeit der Silikate des Eisens, des Kalks, der Magnesia und der Tonerde. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 165, Seite 378.

Th. Erhard und A. Schertel, Die Schmelzpunkte der Prinsepschen Legierungen und deren pyrometrische Verwendung. Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 154. (Enthält Berichtigungen der von Plattner gefundenen Schmelztemperaturen der Schlacken.)

M. J. Fournet, Sur la cristallisation des silicates vitreux et sur la couleur bleue des laitiers. Annales de chimie et de physique, Reihe 3, Bd. 4 (1842), Seite 370.

E. Mène, Über die blaue Färbung der Eisenhochofenschlacken. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 182, Seite 469; aus den Comptes rendus, Bd 63, Seite 608.

H. Vogelsang, Über die mikroskopische Struktur der Schlacken und über die Beziehungen der Mikrostruktur zur Genesis der krystallinischen Gesteine. Poggendorffs Annalen, Bd. 121, Seite 101; Berg- und hüttenm. Zeitung 1864, Seite 236.

W. Muirhead, Formation of aluminates in the blast furnace slags. Iron, Bd. 16, Seite 292; Revue universelle 1880, Bd. 8, Seite 594; Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preußen, Bd. 28, Seite 641.

Dr. Kosmann, Über die chemische Stellung der Tonerde in Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 270.

A. Ledebur, Über Schlacken und die Bedingungen ihrer chemischen Zusammensetzung. „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 249.

R. Åkerman, Über die zum Schmelzen verschiedener Hochofenschlacken erforderliche Wärmemenge. Aus Jernkontorets Annaler 1886 in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 281, 387.

P. Gredt, Die Bildungstemperatur der Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 756.

R. Åkerman, Über die Bildungstemperatur der Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 424.

G. Hilgenstock, Über die Zusammensetzung der Thomasschlacke und ihre Begründung. „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 525.

G. Hilgenstock, Das vierbasische Kalkphosphat und die Basicitätsstufe des Silikats in der Thomasschlacke. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 557.

A. S. Rossi, Zur Ehrenrettung titanhaltiger Eisenerze. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 310.

B. Platz, Über die Ursache des Zerfallens kalkreicher Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen 1892, Seite 7.

H. v. Jüptner, Die Konstitution der Schlacken. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 1105.

H. v. Jüptner, Der Schwefelgehalt der Schlacken und Hüttenprodukte. „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 387, 432.

H. v. Jüptner, Zur Kenntnis der Schlacken. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1902, Seite 165, 182.

H. O. Hofmann, The temperatures at which certain ferrous and calcic silikates are formed. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 29, Seite 682; in französischer Bearbeitung durch H. Le Chatelier auch im Bulletin de la Société d'Encouragement 1900, Seite 384.

B. Osann, Verdampfung von Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 870.
J. H. L. Vogt, Die Theorie der Silikatschmelzlösungen. Zeitschr. für Elektrochemie 1903, Seite 852.

VI. Die Erze nebst Zuschlägen und ihre Vorbereitung für die Verhüttung.

I. Die Erze.

A. Erklärungen.

Eisenerze nennt man die in der Natur vorkommenden Verbindungen des Eisens mit anderen Körpern, welche ihres Eisengehalts halber als Rohstoffe für die gewerbliche Darstellung des Eisens benutzt werden.

Gediegenes Eisen findet sich überhaupt nur in seltenen Ausnahmen, die für den Eisenhüttenbetrieb keine Wichtigkeit besitzen. So z. B. bestehen die Meteorsteine zum gröfsten Teil aus metallischem Eisen (neben Kobalt, Nickel und einigen anderen Körpern); auf Disco in Nordgrönland fand Nordenskjöld 1870 gröfsere Mengen gediegenen Eisens. In der feuchteren Luft der gemäfsigten Klimate würde solches gediegenes Eisen gar nicht beständig sein, sondern allmählich in Eisenhydroxyd — Rost — umgewandelt werden.

Damit aber die Benutzung eisenhaltiger Gesteine als Eisenerze möglich sei, mufs ihr Eisengehalt ein solcher sein, dafs ihre Verarbeitung auf Eisen in wirtschaftlicher Beziehung lohnend erscheinen kann, und sie dürfen keine solchen fremde Körper enthalten, welche, in das erfolgende Eisen übergehend, dieses unbenutzbar machen würden, ohne dafs ihre Abscheidung möglich wäre. Deshalb ist z. B. Arsenkies (Fe S As) kein Eisenerz, denn man ist nicht imstande, das Arsen in ausreichend billiger Weise so vollständig vom Eisen zu trennen, dafs daraus brauchbares Handelseisen entstände.

Die Grenze des Eisengehalts, welche nicht unterschritten werden darf, wenn ein Gestein als Eisenerz gelten soll, ist teils von örtlichen Verhältnissen, teils von der sonstigen Zusammensetzung des Gesteins abhängig. Je niedriger der Preis des Erzes an dem Orte der Verhüttung (also einschliefslich der Frachtkosten) sich stellt, je geringer auch die übrigen Verhüttungskosten (Brennstoffe, Löhne u. a. m.) sind, desto geringer braucht der Eisengehalt zu sein, ohne dafs das Gestein seine Eigenschaft als Eisenerz einbüfst. Die fremden Bestandteile des Gesteins aber bilden, sofern sie nicht flüchtig sind (Kohlensäure, Wasser) bei der Verhüttung die Schlacke, welche ausreichend schmelzbar sein mufs, damit die Eisendarstellung überhaupt gelinge. Häufig mufs man fremde Gesteine — Zuschläge genannt — den Erzen beim Schmelzen beifügen, um eine Schlacke von der erforderlichen Beschaffenheit

zu bilden; in selteneren Fällen ist die Zusammensetzung der Fremdkörper schon eine solche, dafs Zuschläge gänzlich entbehrlich sind. Je geringer die Menge der erforderlichen Zuschläge ist, bei desto niedrigerem Eisengehalte kann ein Gestein noch als Eisenerz gelten.

Erze mit einem Eisengehalte von weniger als 30 v. H. ihres Gewichts verhüttet man selten; doch finden sich Eisenwerke, welche noch Erze mit 25 v. H. Eisengehalt verwenden. Sind die fremden, dem Eisen beigemengten Gesteinsarten so beschaffen, dafs durch Vermischung mehrerer Erze eine Schlacke von entsprechender Schmelzbarkeit entsteht und so die Anwendung eigentlicher Zuschläge entbehrlich wird, so kann mitunter auch ein noch geringerer Eisengehalt ausreichend sein, jene Gesteine als Erze gelten zu lassen. Sie bilden alsdann den Übergang zu den eisenhaltigen Zuschlägen, Gesteinen, welche zwar vornehmlich der Schlackenbildung halber den Erzen zugesetzt werden, zugleich aber einen gewissen, wenn auch nicht sehr bedeutenden Eisengehalt (bis etwa 15 v. H.) mitbringen, welcher bei der Verhüttung nutzbar wird.

Neben den eigentlichen Eisenerzen finden nicht selten eisenreiche Nebenerzeugnisse anderer Verfahren zur Eisendarstellung Benutzung. Die wichtigeren dieser Stoffe werden, da sie in gleicher Weise und zu gleichem Zwecke wie die Eisenerze verarbeitet werden, unmittelbar nach diesen eine kurze Besprechung finden.

Sämtliche Eisenerze im engeren Sinne bestehen aus Oxyden, Hydroxyden oder Karbonaten des Eisens. Natürlich vorkommende Eisensilikate sind teils zu selten, teils zu schwierig reduzierbar, um als eigentliche Eisenerze gelten zu können, obgleich sie ausnahmsweise wohl gemeinschaftlich mit anderen Erzen Verhüttung gefunden haben.

Sollen aber manganreiche Eisenlegierungen dargestellt werden, so müssen Manganerze an Stelle der Eisenerze treten oder doch den Eisenerzen zur Anreicherung ihres Mangangehalts zugesetzt werden. Auch diese sollen daher in folgendem der Besprechung unterzogen werden.

B. Die Spateisensteine (Eisenspate).

Diese Erzgattung, durch Ablagerung aus kohlensäurehaltigem Wasser entstanden und eine der ursprünglichen Entstehungsformen aller Erze bildend, würde im reinen und unzersetzten Zustande aus Eisenkarbonat $FeCO_3$ mit 48,3 v. H. Eisen (61,9 v. H. FeO) bestehen; in der Regel jedoch enthält das Erz neben dem Eisenkarbonate kleinere oder gröfsere Mengen von isomorphen Karbonaten des Mangans, Calciums oder Magnesiums, und der gesamte Eisengehalt des Erzes ist daher fast immer niedriger, als obiger Formel entspricht.

Der Spateisenstein kristallisiert rhomboëdrisch; sein Gefüge ist teils grob, teils feinkörnig oder derb. Bisweilen tritt er in trauben- oder nierenförmigen Bildungen auf und wird dann von den Mineralogen Sphärosiderit (im engeren Sinne) genannt. Die Farbe des frischen, unzersetzten Erzes ist gelblichweifs (Weifs-

erz, unreifer Eisenspat); an der Luft aber und unter dem Einflusse der Feuchtigkeit verwandelt es sich teilweise in Eisenhydroxyd und nimmt dabei allmählich eine dunkle, braune, auch wohl blauschwarze Farbe an (Braunerz, Blauerz, reifer Eisenspat).

Der Spateisenstein tritt in häufig mächtigen Gängen und Lagern in älteren Formationen bis zum Buntsandstein auf. Unter den deutschen Vorkommnissen sind schon seit alters her die Spateisensteine des Siegerlandes berühmt, welche bis zur Jetztzeit einen wichtigen Teil des deutschen Erzbesitzes bilden (Seite 21); auch Thüringer Spateisensteine, in der Gegend von Saalfeld (Kamsdorf, Könitz) auftretend, sind für das deutsche Eisenhüttengewerbe nicht ohne Bedeutung (Seite 21). Ferner verdienen die in der Gegend von Osnabrück, auf Georgs-Marienhütte verarbeiteten Spate Erwähnung (Seite 21). Minder wichtig sind kleinere Vorkommnisse im sächsischen Vogtlande und im Harze (Gegend von Stolberg).

Hohe Bedeutung besitzen verschiedene Spateisenstein-Vorkommnisse Österreichs und Ungarns für den dortigen Eisenhüttenbetrieb. Auf Seite 30 u. 32 wurden diese Spateisensteine bereits erwähnt. Von den ungarischen Spateisensteinen findet ein Teil auch auf oberschlesischen Werken Benutzung.

Einige zwar nicht umfängliche, für die betreffenden Gegenden aber nicht ganz unwichtige Vorkommnisse von Spateisenstein finden sich in Frankreich und Spanien; arm an diesen Erzen sind dagegen Grofsbritannien und Nordamerika.

Häufig vorkommende Beimengungen des Spateisensteins, welche bei seiner Verhüttung Beachtung verdienen, damit sie nicht schädliche Einflüsse auf die Beschaffenheit des daraus erzeugten Roheisens ausüben, sind Kiese, insbesondere Eisenkies und Kupferkies; ferner Bleiglanz, Zinkspat, Galmei; selten dagegen enthält der Spateisenstein erhebliche Mengen von Phosphaten.

Diese Reinheit von Phosphor erhebt ihn zu einem der wichtigsten Erze für Herstellung phosphorarmen Eisens; die Leichtreduzierbarkeit des Erzes, besonders im gerösteten Zustande, erleichtert wesentlich seine Verhüttung, und der selten ganz fehlende Mangangehalt weist auf die Verwendung zur Erzeugung manganhaltiger Eisensorten hin (Weifseisen, Spiegeleisen, Bessemerroheisen). Da nun solche manganhaltige und zugleich phosphorarme Roheisensorten auch schon in früherer Zeit mit Vorliebe für die Stahldarstellung verwendet wurden und ein Mangangehalt der Erze neben wenig Phosphor selbst dann als förderlich für diesen Zweck sich erweist, wenn man, wie in alter Zeit, Stahl unmittelbar aus ihnen erzeugt, nannte man nicht allein den Spateisenstein selbst in einzelnen Gegenden Stahlstein, sondern bezeichnete seine Fundstätten nicht selten mit demselben Beiworte (Stahlberg bei Müsen im Siegenschen u. a.).

Die Spateisenerze sind im rohen Zustande weniger leicht als im gerösteten Zustande reduzierbar. Sie werden daher meistens vor der Verhüttung geröstet, und bilden dann eins der am leichtesten reduzierbaren Erze.

Beispiele der Zusammensetzung verhütteter Spateisensteine [1]).

	Rohe Spate.								Geröstete Spate		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Eisen	38,86	34,70	33,70	33,12	26,38	38,93	33,37	33,66	51,80	45,34	40,65
Mangan	9,20	6,50	5,10	4,52	1,82	2,15	1,76	1,46	2,84	2,82	2,04
Kieselsäure	0,22	8,00	1,68	3,57	1,10	8,20	10,55	16,78	11,04	12,33	16,11
Tonerde	n.best.	2,10	1,32	0,86	0,00	2,09	3,52	4,30	2,81	1,95	2,58
Kalkerde	0,70	0,50	4,51	8,92	15,90	3,06	0,77	Spur	4,12	6,65	0,44
Magnesia	0,51	0,50	3,61	2,12	8,47	2,92	5,46	5,56	2,93	1,59	6,03
Baryt	—	—	2,66	2,58	—	—	—	—	—	—	—
Blei	—	—	0,01	n.best.	n.best.	—	—	—	—	—	—
Kupfer	0,03	0,10	0,02	n.best.	n.best.	Sp.	0,01	0,05	Sp.	n.best.	0,02
Schwefel	0,03	n.best.	n.best.	n.best.	0,40	Sp.	n.best.	n.best.	Sp.	n.best.	Sp.
Phosphor	Sp.	—	0,01	n.best.	0,02	0,017	Spur	n.best.	0,022	0,06	Sp.
Kohlensäure, Wasser	n.best.	n.best.	28,81	n.best	n.best.	27,60	n.best.	n.best.	—	8,75	n.best.

1. Spateisenstein von Struthütten im Siegenschen; ausgestellt in der Düsseldorfer Ausstellung 1880.
2. Grube Wingertshart bei Niederhövels im Siegenschen; ausgestellt in der Düsseldorfer Ausstellung 1880.
3. Kamsdorfer Spateisenstein, auf der Maximilianshütte zu Unterwellenborn (Thüringen) verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
4. Spateisenstein von Könitz in Thüringen (enthält auch 0,30 v. H. Strontian). In Königin-Marienhütte verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
5. Spateisenstein von Georgs-Marienhütte. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
6. Spateisenstein vom steirischen Erzberg. F. Kupelwieser in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- nnd Architektenvereins 1893, Nr. 22.
7. Spateisenstein von Grube Köhlergrund, dem Eisenwerk Krompach im Zipser Komitat (Ungarn) gehörig. Vom Verfasser untersucht.
8. Spateisenstein von Grube Zahura; übrigens wie 7.
9. Gerösteter Spat vom steirischen Erzberg. Wie 6.
10. Gerösteter Spat von Innerberg in Kärnten. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 123.
11. Gerösteter Spat von Grube Köhlergrund. Wie 7.

C. Die tonigen Sphärosiderite und verwandte Erze.

Unter dieser Benennung kann man eine gröfsere Zahl von Eisenerzen zusammenfassen, deren Grundbestandteil, wie bei den Spateisensteinen, kohlensaures Eisenoxydul ist, welche jedoch fremde, mechanisch beigemengte Körper, insbesondere Ton, in solcher Menge enthalten, dafs sie ein dichtes oder ganz feinkörniges Gefüge angenommen haben, welches sich deutlich von dem kristallinischen Gefüge des Spateisensteins unterscheidet. Häufig ist das kohlensaure Eisenoxydul durch Verwitterung zum gröfsten Teile in Eisenhydroxyd übergegangen, und die Erze bilden dann Übergänge zu den Brauneisensteinen.

[1]) Die Analysen sind in der Form gegeben, wie sie für den Betriebsmann den meisten Wert haben, d. h. Eisen und Mangan sind als Metalle aufgeführt. Dafs dieselben vorwiegend als Oxydul auftreten, das Eisenoxydul aber durch Verwitterung teilweise in Oxyd (Hydroxyd) umgewandelt zu sein pflegt, wurde oben erwähnt.

Die Erze dieser Gruppe bilden wegen ihres häufigen Vorkommens in oft grofser Mächtigkeit eine der wichtigsten Eisenerzgattungen der Erde. Die jährlich in Yorkshire (Cleveland) geförderten tonigen Sphärosiderite, deren Menge mehr als ein Drittel der gesamten Erzförderung Grofsbritanniens ausmacht (Seite 25), bilden die Grundlage des dortigen grofsartigen Eisenhüttenbetriebes; ähnliche Erze liefern Wales, Staffordshire und Schottland. In Rheinland und Westfalen gab früher das Auftreten von Sphärosideriten und verwandten Erzen Veranlassung zur Begründung wichtiger Eisenwerke, während allerdings der Bedarf der jetzt bestehenden Werke bei weitem nicht mehr durch die dortigen Vorkommnisse gedeckt werden kann; auch Frankreich, Ungarn, Pennsylvanien enthalten Lager dieser Erze.

Wie die Spateisensteine führen die Sphärosiderite häufig eingesprengte Kiese und Glanze und sind daher blei-, kupfer- und zinkhaltig; stärker als jene aber sind sie, wie erwähnt, mit Ton oder Kohle vermengt, und in sehr vielen Fällen enthalten sie ansehnliche Mengen von Phosphor.

Sie sind, besonders im gerösteten Zustande, leicht reduzierbar und werden, je nachdem ihr Gehalt an fremden Körpern die eine oder andere Verwendung tunlicher erscheinen läfst, sowohl für Grau- als Weifseisendarstellung benutzt.

Ihrer Beschaffenheit nach lassen sich die zu dieser Gruppe gehörenden Erze in folgende zwei Gattungen einteilen:

a) Gewöhnlicher oder toniger Sphärosiderit. Dicht, grau, grünlich oder bräunlich gefärbt; tonhaltig, nicht selten reich an organischer Masse (Kohle). Erscheint in verschiedenen Erdformationen, vorzugsweise in der Kohlenformation, dem Keuper, Jura und der Kreide.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eisen	28,76	36,14	33,20	28,86	25,10	36,16	40,46	28,71	37,80
Mangan	0,74	1,12	1,16	0,70	4,70	2,86	1,22	0,42	10,48
Kieselsäure	19,18	10,17	10,22	10,22	10,18	11,50	8,76	13,56	21,92
Tonerde	7,86	4,80	1,14	6,95	4,40	3,64	1,58	6,98	11,84
Kalkerde	2,89	0,76	3,32	6,63	9,72	1,88	2,15	8,08	0,27
Magnesia	2,29	0,94	2,85	3,78	3,65	2,07	0,51	3,52	1,19
Kupfer	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	Spur	n.best.	n.best.	n.best.	0,08
Schwefel	0,10	0,04	0,42	0,10	0,15	0,26	n.best.	0,29	0,04
Phosphor	0,21	0,33	0,48	0,50	0,01	0,20	0,24	0,40	0,68
Kohlensäure	25,41	30,44	28,63	22,02	n.best.	n.best.	28,25	n.best.	9,00 (Kohlensäure und Wasser, org. Substanz zusammen)
Wasser, org. Substanz	2,07	2,52	2,89	11,00	n.best.	n.best.	3,80	n.best.	

1. Aus Yorkshire. Nach Percy. (Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Bd., Seite 88 ff.)

2. Aus Südstaffordshire. Übrigens wie 1.

3. Aus Stanton in Derbyshire. Übrigens wie 1.

4. Aus Cleveland (Kirchhoff, Notes on some European iron making districts, Seite 89). Die angegebene Zusammensetzung ist nach Kirchhoff typisch für diejenige der Cleveländer Eisenerze.

5. Toneisenstein von Euskirchen (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 139).
6. Aus Grube Sperber zu Ruppichteroth (Dürre, a. a. O.).
7. Sphärosiderit von Schmiedewalde bei Meifsen. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
8. Toneisenstein aus Porta in Westfalen. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 266 (Schroedter).
9. Toniger Sphärosiderit, gröfstenteils in Brauneisenerz übergegangen, aus dem Vogtlande. In Königin-Marienhütte verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

b) Kohleneisensteine oder Blackbands. Enthält das im wesentlichen aus Eisenkarbonat bestehende Erz so beträchtliche Mengen von Kohle, dafs es schwarz gefärbt ist, so wird es Kohleneisenstein oder (mit der englischen Bezeichnung) Blackband genannt. Sein Kohlegehalt pflegt mindestens 10 v. H. zu betragen, steigt aber mitunter bis auf 25 v. H. Die kohlenreicheren dieser Erze brennen fort, wenn sie entzündet werden, und bilden den Übergang zu den aschenreicheren Steinkohlen. Im übrigen stimmt das Verhalten der Kohleneisensteine mit dem der gewöhnlichen Sphärosiderite überein. Man verarbeitet sie nur im gerösteten Zustande, und hierzu ist um so mehr Veranlassung gegeben, da ihr eigener Kohlenstoffgehalt gewöhnlich ausreichend ist, die zur Durchführung der Röstung notwendige Wärme zu liefern, ja mitunter noch die Röstung anderer Erze in Vermischung mit ihnen ohne Aufwand fremden Brennstoffs gestattet.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	Roh				Geröstet			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	36,20	34,14	30,80	21,21	52,12	46,70	47,66	47,66
Mangan	1,97	—	n.best.	0,57	1,21	1,42	0,90	1,12
Kieselsäure	1,98	10,19	5,26	4,98	9,64	16,49	13,44	9,75
Tonerde	1,23	2,89	—	1,64	5,75	5,88	4,46	3,96
Kalkerde	2,44	2,10	—	2,87	3,15	3,21	3,69	6,39
Magnesia	1,39	2,47	—	1,27	1,96	4,02	2,65	2,84
Kupfer	n.best	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.
Schwefel	0,18	0,09	n.best.	1,06	0,79	0,14	0,90	1,29
Phosphor	0,29	0,50	0,20	0,58	0,49	0,45	0,50	1,57
Kohle	10,46	}	25,76	}	—	}		
Kohlensäure	30,77	}32,25	—	}58,56	—	}21,11	4,05	1,60
Wasser	1,47	}	n.best.	}	3,00	}		

1. Von Shelton Kohlengrube in Staffordshire. Nach Percy. (Wedding, Eisenhüttenkunde, Bd. 2.)
2. Von Klosterbusch bei Kupferdreh. Auf der Wiener Ausstellung durch Eisenwerk Phönix in Ruhrort ausgestellt (Dürre, Bericht, Seite 90).
3. Aus Westfalen; wird in Friedrich-Wilhelmshütte zu Mülheim a. d. Ruhr verhüttet. In Düsseldorf 1880 ausgestellt.
4. Blackband von Hoerde. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 266 (Schroedter).
5. Gerösteter Blackband aus Westfalen (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 136).
6. Gerösteter Blackband von Klosterbusch bei Kupferdreh (Dürre, Anlagen usw., Seite 136).

7. Gerösteter Blackband aus Westfalen. Auf Friedrich-Wilhelmshütte verhüttet. In Düsseldorf 1880 ausgestellt.
8. Gerösteter Blackband von Zeche Freie Vogel in Westfalen. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 266 (Schroedter).

D. Brauneisenerze.

Seiner chemischen Zusammensetzung nach ist der Brauneisenstein durch einen Gehalt an chemisch gebundenem Wasser, seinem Aussehen nach durch braune bis schwarze Farbe und braunen Strich gekennzeichnet.

Die chemische Formel des eigentlichen reinen Brauneisensteins würde sein: $H_6F_4O_9$ mit etwa 60 v. H. Eisen und 14,5 v. H. Wasser; doch kennt der Mineraloge eine gröfsere Anzahl bestimmt ausgebildeter Formen des Brauneisensteins, deren Zusammensetzung von der obigen mehr oder minder abweicht (Göthit u. a.), und die Übergänge sowohl zu den wasserfreien Eisenoxyden als den oxydul- und kohlensäurehaltigen Spateisensteinen und Sphärosideriten, aus deren Zersetzung häufig der Brauneisenstein hervorging, sind zahlreich. Hieraus erklärt es sich, dafs auch der Wassergehalt der Brauneisenerze sich zwischen ziemlich weiten Grenzen bewegt.

Die Brauneisenerze sind sehr verbreitet und finden sich in fast allen Erdformationen. Eben deshalb treten sie uns in ziemlich mannigfaltigen äufseren Formen entgegen. Ausgezeichnet sind fast alle Brauneisenerze durch Leichtreduzierbarkeit; ihre fremden Beimengungen aber, welche neben dieser Eigenschaft den Grad ihrer Verwendbarkeit bedingen, sind in den verschiedenen Vorkommnissen sowohl ihrer Menge als ihrer Beschaffenheit nach ziemlich verschieden. Mitunter finden sich Brauneisensteine unmittelbar neben den Spateisensteinen, aus deren Umwandlung sie hervorgingen, und lassen dann nicht selten das Gefüge des Spateisensteins noch erkennen, enthalten auch, wie dieser, nicht unbeträchtliche Mengen Mangan; waren sie durch Zersetzung toniger Sphärosiderite entstanden, so enthalten sie Ton und gewöhnlich Phosphor in gröfserer Menge; manche Brauneisenerze sind reich an zinkischen Beimengungen, welche ihre Verwendung erschweren.

Im wesentlichen lassen sich folgende Hauptgattungen des Brauneisensteins unterscheiden:

a) Brauner Glaskopf, ein durch Reinheit von fremden Körpern ausgezeichnetes Erz von dunkelbrauner bis schwarzer Farbe und kristallinisch faserigem Gefüge bei oft kugliger oder nierenartiger äufserer Form. Er erscheint vorwiegend in den ältesten Erdformationen, jedoch im Verhältnisse zu den übrigen Erzvorkommnissen zu selten, um eine hervorragende Bedeutung zu besitzen.

b) Gewöhnlicher Brauneisenstein. Unter dieser Benennung lassen sich alle solche Brauneisenerze zusammenfassen, welche nicht durch ganz besondere Eigentümlichkeiten sich vor den übrigen auszeichnen. Einzelne sind wie der braune Glaskopf wegen grofser Reinheit wertvoll, andere, und zwar vorwiegend die erdigeren und derben Sorten, enthalten Kiese, Glanze, Zinkerze, auch mitunter nicht ganz unbeträchtliche Mengen von Phosphaten.

Besondere Benennungen für einzelne Formen dieser Erze sind Schaleneisenstein oder Eisenniere (in schaligen oder nierenartigen Bildungen vorkommend), dichter Brauneisenstein, mulmiger oder erdiger Brauneisenstein.

Solche Brauneisenerze finden sich in den österreichischen Alpen neben den oben besprochenen Spateisensteinen, in Thüringen, am Harz, in Spanien, Nordafrika (Algier), Nordamerika, (Alabama, Pennsylvanien, Virginien u. a. a. O.); in Oberschlesien bildeten früher die dortigen im Trias vorkommenden mulmigen Brauneisenerze den wichtigsten Rohstoff des Eisenhüttenbetriebs; Brauneisenerze aus der Juraformation finden sich in reichlichen Vorkommnissen in England (Northamptonshire, Lincolnshire u. a. a. O.).

Die Erze aus Spanien, zumal aus der Provinz Viscaya (Bilbao, Sommorostro), haben wegen ihres hohen Eisengehalts seit den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts eine nicht unbeträchtliche Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb erlangt und werden in grofsen Mengen auf deutschen, französischen und englischen Eisenwerken verarbeitet.

Beispiele für die Zusammensetzung von gewöhnlichen Brauneisenerzen.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eisen . . .	37,84	54,20	50,68	48,58	37,88	42,22	49,12	54,30	36,39	57,11
Mangan . .	5,61	0,57	1,90	2,25	0,17	0,26	3,00	0,16	3,50	—
Kieselsäure .	3,48	8,80	8,68	13,08	33,38	17,93	9,85	7,10	17,95	3,30
Tonerde . .	1,49	1,15	3,21	1,91	0,88	10,28	0,91	3,15	6,22	2,28
Kalkerde . .	11,79	0,50	—	—	0,32	1,82	0,15	0,27	0,40	1,53
Magnesia . .	0,68	0,02	—	—	—	Sp.	0,11	—	0,27	—
Schwefel . .	n.best.	0,04	n.best.	n.best.	0,06	—	0,24	n.best.	n best.	0,12
Phosphor. .	n.best.	0,02	0,40	0,33	0,57	0,08	0,09	0,73	0,12	0,09
Wasser. . .	n.best.	10,55	12,14	12,20	7,77	9,38	12,61	n.best.	n.best.	10,77
Zink	n.best.	—	—	—	—	—	—	n.best.	3,15	—
Blei	n.best.	—	—	—	—	—	—	n.best.	0,07	—
Kupfer . . .	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n best	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.

1. Thüringer Brauneisenerz (enthält aufser den angegebenen Bestandteilen 0,95 v. H. Baryt und 0,05 v. H. Strontian). Auf Königin-Marienhütte verhüttet. Vom Verfasser untersucht.

2. Brauneisenerz von Bilbao („Stahl und Eisen“ 1882, Seite 339).

3. Von den Sulzbacher Gruben in Thüringen, auf Maximilianshütte verarbeitet („Stahl und Eisen“ 1882, Seite 35).

4. Von den Crumbacher Gruben. Übrigens wie 3.

5. Ochriger Brauneisenstein vom Büchenberge am Harz (Preufs. Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1868, Seite 206).

6. Von Grube Tännichen bei Elbingerode am Harz. (Wie Nr. 5.)

7. Ochriger Glaskopf vom Kärtner Erzberge (Verhandl. der k. k. Geologischen Reichsanstalt 1876, Bd. 26, Seite 49).

8. Erz von Amberg in Bayern. Auf Amberger Hütte verschmolzen. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

9. Mulmiges Erz von Tarnowitz. Vom Verfasser untersucht.

10. Brauner Glaskopf aus dem Gömörer Komitat in Ungarn, in Eisenwerk Betlér verhüttet (A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine, Seite 32).

c) Bohnerze und oolithische Erze. Kugelförmige oder körnerförmige, auch wohl nierenförmige Erze, gewöhnlich von

Nadelkopf- bis Nufsgröfse, entweder in einzelnen Körnern als loses Geröll auftretend, häufiger durch eisenschüssigen Ton oder Quarz zu gröfseren Massen verbunden. Sie finden sich in der Trias und im Tertiärgebirge in oft mächtigen Ablagerungen. Stets enthalten sie Phosphor, oft in beträchtlicher Menge; auch ihr Tonerdegehalt ist nicht selten erheblich; ihre Gewinnungskosten aber sind meistens gering, und aus diesem Grunde verwendet man sie, wo sie vorkommen, nicht ungern für die Eisendarstellung.

Bohnerze finden sich im Breisgau, an einigen Orten Württembergs, am Rande des Harzes (Harzburg, Salzgitter) u. a. a. O. Eine Gewinnung in besonders umfänglichem Mafse findet in der Gegend von Peine statt, und die dort gewonnenen Erze werden in den Hochöfen zu Ilsede bei Peine verhüttet. Sie treten in Lagern von 7—10 m Mächtigkeit auf zwischen Hilston als Liegendem und, wo sie nicht zutage ausgehen und nur von Dammerde bedeckt sind, Kalkmergel als Hangendem und bestehen aus Nieren und Kugeln, welche durch kohlensauren Kalk oder Ton untereinander verbunden sind. Zwischen den Brauneisenknollen finden sich Phosphoritknollen verteilt, teils winzig klein, teils bis zu Faustgröfse, mit einem Phosphorgehalte von 10—12 v. H. Da ihre Trennung von den Erzen nur in beschränktem Mafse zu bewirken ist, besitzen auch die letzteren, wie die unten mitgeteilte Zusammensetzung beweist, einen beträchtlichen Phosphorgehalt.

Auch Frankreich enthält in mehreren Bezirken Bohnerze (Franche Comté, Berry, Champagne).

Jenes feinkörnige Erz, welches erst seit Anfang der sechziger Jahre des 19. Jahrhunderts Beachtung fand und den Namen Minette erhielt, kann ebenfalls den oolithischen Erzen zugezählt werden. Das Auftreten dieses Erzes in Lothringen, Luxemburg und dem östlichen Frankreich und seine Bedeutung für den deutschen und französischen Eisenhüttenbetrieb wurde auf Seite 20 und 27 ausführlicher geschildert. Die Minette enthält nicht selten neben dem Eisenhydroxyd noch kohlensaures Eisenoxydul, aus dessen Umwandlung sie hervorgegangen ist; ihre Farbe ist, je nachdem sie noch reicher an diesem kohlensauren Eisen ist oder bereits zum gröfseren Teile in Oxydhydrat überging, grünlichgrau oder braun, auch wohl schwarz oder rötlich. Sie ist fast immer reich an Phosphor.

Der Minette ähnlich ist ein im Jura (Lias) in verschiedenen Ländern auftretendes, ebenfalls feinkörniges Erz, seinem geologischen Vorkommen halber gewöhnlich Liaserz genannt. Es findet sich in Grofsbritannien (Cleveland, Lincolnshire), in der Gegend von Hof in Bayern u. a. a. O.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	38,77	46,50	45,25	26,64	39,79	40,90	21,69	42,58
Mangan	0,24	0,61	5,03	3,78	0,48	n. best.	n. best.	0.88
Kieselsäure	8,55	2,68	4,35	4,41	8,70	16,63	14,71	13,90
Tonerde	5,95	6,37	3,54	1,80	6,21	4,95	3,88	10,25
Kalkerde	7,65	2,98	4,69	19,34	6,25	5,59	21,25	0,85
Magnesia	1,26	0,45	—	0,56	1,47	0,49	0,30	0,59
Schwefel	0,24	0,32	n best.	n. best.	n. best.	0,10	0,05	n. best.
Phosphor	0,79	0,11	1,53	1,13	0,74	1,13	0,48	0,41
Wasser	n. best.	n. best.	11,73	} 27,90	8,20	11,78	9,81	n. best.
Kohlensäure	n. best.	n. best.	—		5,76	4,25	18,89	—
Vanadinsäure	0,11	n. best.	—	—	—	—	—	—
Arsensäure	n. best.	n. best.	—	—	—	—	—	—

1. Bohnerz vom Harz. In Mathildenhütte bei Harzburg verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
2. Bohnerz von Nattheim in Württemberg. In Wasseralfingen verhüttet. Nach persönlicher Mitteilung.
3. Toniges Bohnerz von Adenstedt bei Peine. In den Ilseder Hochöfen verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
4. Kalkiges Bohnerz von Bülten bei Peine. In Ilsede verhüttet. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 266 (Schroedter).
5. Grünliche Minette von Moyeuvre. Vom Verfasser untersucht.
6. Rote Minette von Belvaux (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 75).
7. Braune Minette, Grube von der Heydt bei Redingen (Dürre, a. a. O., Seite 79).
8. Liaserz von Hof. In Königin-Marienhütte verhüttet. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.

d) Rasenerze (Wiesenerze) und Seeerze. Rasenerze sind Ablagerungen von oft beträchtlicher Ausdehnung aus Wasser in sumpfigen Niederungen, jedoch nie in grofser Mächtigkeit. Sie besitzen teils erdige Beschaffenheit, teils kommen sie in festen Stücken vor; erstere pflegen lichtbraune Farbe, letztere dunkelbraune bis schwarzbraune Farbe zu besitzen. Rasenerze finden sich in grofser Verbreitung auf der ganzen Norddeutschen Tiefebene von Holland bis nach Rufsland; auch in Rufsland in verschiedenen Gegenden; in Kanada, Pennsylvanien u. a. a. O. Bedeutung für den Eisenhüttenbetrieb erlangten sie in einzelnen Bezirken vornehmlich durch ihre billige Gewinnung. Da sie sich dicht unter der Erdoberfläche finden und hier selten eine Mächtigkeit von mehr als 0,5 m erreichen, ja in vielen Fällen in erheblich schwächeren Lagern auftreten und dabei eine grofse Fläche bedecken, findet ein eigentlich bergmännischer Abbau dieser Erze gar nicht statt. Sie werden mit Hacke und Spaten ausgegraben, dann wird das abgehobene Erdreich wieder in die Grube gefüllt, und wo in einem Jahre die Arbeiter der Eisenhütte für diese das metallspendende Erz zutage förderten, zieht im folgenden Jahre der Landmann mit dem Pfluge seine Furchen, den Boden für die Körnersaat vorzubereiten; ergiebiger aber als in früherer Zeit fällt seine Ernte aus, nachdem die oft dichte, undurchlässige Erzschicht aus seinem Boden entfernt ist.

Gewöhnlich sind die Rasenerze reich an eingemengten Quarzkörnern, und sie eignen sich deshalb besser zur Darstellung siliciumreicherer Eisensorten (grauen Roheisens) als siliciumarmen Eisens (Weifseisens); ein kaum jemals fehlender Begleiter ferner ist Vivianit (Eisenphosphat), der dem Erze einen oft recht beträchtlichen und für manche Verwendungen unerwünschten Phosphorgehalt zuführt. Zwischen manchen Rasenerzen finden sich solche Eisenphosphate in Form dichter weifslicher Knollen bis zu Faustgröfse, mitunter knetbar wie Ton, an der Luft aber blau werdend. Durch Auslesen bei und nach der Gewinnung des Erzes läfst sich der Phosphorgehalt des letzteren abmindern. Gering ist der Gehalt der meisten Rasenerze an Mangan. In früherer Zeit wurden manche kleine Holzkohlenhochöfen ausschliefslich mit Rasenerzen betrieben, und man erzeugte daraus ein für die Giefserei gut brauchbares, wenn auch wegen seines Phosphorgehaltes oft ziemlich sprödes Roheisen; zur Deckung des gesteigerten Erzbedarfs der jetzigen Hochöfen reichen die Rasenerzvorkommnisse nicht mehr aus, aber man benutzt die Rasenerze in den Gegenden, wo sie auftreten, nicht ungern als Zusatz zu anderen Erzen.

Den Rasenerzen ihrer Entstehung nach, den Bohnerzen ihrer Form nach ähnlich sind die Seeerze, welche auf dem Boden schwedischer und finnländischer Seen gefunden und auf dortigen Eisenwerken verarbeitet werden. Sie kommen in Körnerform von der Gröfse eines Hirsekorns bis einer Nufs vor, haben meistens eine abgeplattete, bohnenartige Form und werden mit Netzen vom Boden heraufgeholt.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Eisen	48,12	36,79	47,34	50,28	54,37	35,60	44,25	53,10
Mangan	0,21	Sp.	1,67	—	0,22	1,74	1,74	0,55
Kieselsäure	7,22	14,32	11,22	4,65	5,40	25,70	13,60	7,05
Tonerde	0,93	—	1,91	—	—	2,47	1,86	1,76
Kalkerde	Sp.	—	1,56	0,54	—	} 2,45 {	0,18	2,95
Magnesia	Sp.	—	0,22	0,08	—		—	0,08
Schwefel	n. best.	n. best	n. best.	n. best.	—	—	—	0,01
Phosphor	1,01	1,13	0,94	0,47	0,89	0,87	0,07	0,29
Wasser	21,22	19,16	13,16	21,79	17,29	15,70	17,70	10,83

1. Rasenerz von Elsterwerda. Vom Verfasser untersucht.
2. Rasenerz aus Wittenberg. Wie 1.
3. Holländisches Rasenerz, in Friedrich-Wilhelmshütte bei Mülheim a. d. Ruhr früher verhüttet. Persönliche Mitteilung.
4. Belgisches Rasenerz. Wie Nr. 3.
5. Rasenerz von Quebeck (Fr. Kupelwieser, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten).
6. Rasenerz aus Wolhynien, Kreis Nowogradwolhynsk. Vom Verfasser untersucht.
7. Seeerz aus Finnland. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
8. Seeerz aus Småland. Von Svanberg untersucht (Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, II, 48).

E. Roteisenerze.

Der chemischen Zusammensetzung nach aus Eisenoxyd Fe_2O_3 bestehend, zeichnen sich diese Erze, sofern sie nicht etwa fremde Körper in gröfseren Mengen enthalten, vor den bisher besprochenen Eisensteinsgattungen durch hohen Eisengehalt aus, da sie weder Kohlensäure, wie die Spate und Sphärosiderite, noch Wasser, wie die Brauneisenerze, enthalten. Sie haben rote bis rötlich schwarze Farbe und roten Strich.

Der äufseren Form nach unterscheidet man: Eisenglanz, rhomboëdrisch kristallisiert, eisenschwarz bis grau von Farbe; Eisenglimmer und Eisenrahm, als dünnschalige, feinschuppige Abarten des Eisenglanzes zu betrachten; roten Glaskopf (faseriges Roteisenerz) in nierenförmigen, traubenförmigen, stalaktitischen Formen mit faserigem Gefüge, der Form nach mit dem braunen Glaskopf übereinstimmend, jedoch rot von Farbe, gewöhnlich fast reines Eisenoxyd; gewöhnliches erdiges oder dichtes Roteisenerz ohne bestimmte Form; oolithisches Roteisenerz, den oolithischen Brauneisensteinen seiner Form nach gleich, u. a.

Der Roteisenstein tritt in Gängen und Stöcken wie auf Lagern auf; seine mächtigsten Vorkommnisse bilden gleichförmige Einlagerungen zwischen Talk- und Chloritschiefern, Quarziten und Jaspis der azoischen Formationen; dichte Roteisensteine finden sich vorwiegend zwischen Kalkstein und Diabas. Einige dieser Vorkommnisse sind hochberühmt; so die Roteisenerze (Eisenglanze) von Elba, welche schon im Altertume zur Eisendarstellung benutzt wurden; die Roteisenerze vom Oberen See in Michigan, Minnesota und Wisconsin (Seite 17); von Cumberland und Nord-Lancashire in England (Seite 25) u. a. m. Deutschlands Roteisenerze finden sich vorwiegend im Gebiete der Lahn (Seite 21); nicht so bedeutend sind einige Vorkommnisse an der Eifel, in einigen Gegenden Westfalens, im Harze, im Thüringerwalde und im Erzgebirge. Oolithische Roteisenerze werden in Belgien gewonnen; reich an vorzüglichen Roteisenerzen ist Spanien, und die dortigen Erze werden neben den schon erwähnten, von dort stammenden Brauneisenerzen auch in Grofsbritannien, Belgien, Frankreich und Deutschland mehrfach verhüttet; für den Eisenhüttenbetrieb Rufslands haben die bei Krivoi-Rog gewonnenen Roteisenerze in den letzten zehn Jahren hervorragende Bedeutung gewonnen (Seite 29).

Das Vorkommen der Roteisensteine im ganzen ist nicht so massenhaft als dasjenige der Brauneisenerze; wo sie aber auftreten, bilden sie einen sehr geschätzten Rohstoff für die Eisendarstellung. Denn ihr Eisengehalt ist, wie erwähnt, hoch, sofern er nicht durch eingewachsene fremde Körper abgemindert wird, und die reineren Erze (Eisenglanz, Glaskopf) ertragen deshalb auch Verfrachtung auf weitere Strecken als solche Erze, bei welchen die Frachtkosten einem geringeren Eisenausbringen zur Last fallen; der Phosphorgehalt vieler Roteisenerze ist gering, und diese eignen sich daher vorzugsweise zur Darstellung reiner, phosphorfreier Eisensorten. Einzelne, übrigens vorzügliche Erze sind aller-

dings von Apatit durchzogen und somit phosphorhaltig; auch manche erdige und dichte, besonders die oolithischen Erze enthalten Phosphor in solchen Mengen, dafs die Herstellung phosphorarmen Roheisens daraus nicht möglich sein würde. Immerhin ist der durchschnittliche Phosphorgehalt der Roteisenerze geringer als derjenige der Brauneisenerze, um so mehr, wenn man nicht den Gehalt an Phospor in Hundertteilen des Erzes, sondern das Verhältnis dieses Phosphorgehaltes zu dem Eisengehalte des Erzes für den Vergleich heranzieht. Einem so hohem Phosphorgehalte, wie ihn die jüngeren Brauneisenerze (Bohnerze, Minette, Rasenerze) ziemlich regelmäfsig besitzen, begegnen wir in den Roteisenerzen nur in Ausnahmefällen.

Nicht selten dagegen findet sich Schwefelkies; viele Roteisenerze enthalten eingesprengte gröfsere oder kleinere Quarzkristalle und eignen sich dann vorzugsweise zur Darstellung von grauem Roheisen. Der Mangangehalt der Roteisenerze ist selten erheblich. Erzlager im Kalkstein enthalten häufig nicht unerhebliche Mengen von kohlensaurem Calcium; einzelne Roteisenerze führen Titansäure.

Die Roteisenerze, selbst ihre dichten Arten, sind ziemlich leicht reduzierbar; doch pflegt man anzunehmen, dafs ihre Reduzierbarkeit derjenigen der Brauneisenerze nachstehe.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eisen . . .	68,92	62,91	62,22	66,54	38,64	42,04	27,96	31,38	39,07	58,85
Mangan . .	—	Sp.	—	1,93	0,10	0,69	0,12	0,19	5,46	0,28
Kieselsäure .	1,53	5,89	2,60	3,80	17,80	23,88	7,19	0,87	28,10	7,85
Tonerde . .	—	1,39	—	1,71	7,58	9,28	1,12	0,06	2,58	4,56
Kalkerde . .	—	0,70	0,60	—	8,10	—	21,91	29,95	0,62	0,22
Magnesia . .	—	0,42	0,30	0,50	6,32	—	0,67	0,25	Sp.	0,21
Schwefel . .	—	0,05	—	0,02	Sp.	n.best.	n. best.	—	n.best.	0,03
Phosphor . .	—	0,11	Sp.	0,04	0,19	0,21	0,15	0,09	n.best.	0,03
Titansäure .	—	—	0,20	—	—	—	—	—	—	—
Kupfer . . .	—	—	—	0,07	Sp.	—	—	—	—	—
							CO_2, H_2O	CO_2		
Glühverlust.	—	—	1,60	2,23	9,92	4,04	23,16	23,68	—	—

1. Glaskopf aus Cumberland. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
2. Festes Roteisenerz vom Oberen See. Durchschnittsanalyse (Wedding, Das Eisenhüttenwesen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Seite 14).
3. Nordafrikanisches Erz aus Constantine (Fr. Kupelwieser, Österr. Ausstellungsbericht 1879, Seite 10).
4. Nordafrikanisches Erz, sogenanntes Moktaerz (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 45).
5. Nassauisches Roteisenerz, in Friedrich-Wilhelmshütte früher verhüttet. Persönliche Mitteilung.
6. Nassauisches Roteisenerz, in Gutehoffnungshütte bei Oberhausen verhüttet (Dürre, Anlage der Eisenhütten, Seite 33).
7. Kalkspatreiches Erz aus Grube Christiane in Westfalen (Dürre, Anlage der Eisenhütten, Seite 34).
8. Harzer Roteisenstein von Grube Johannes bei Elbingerode. Analysiert im Laboratorium der Berliner Bergakademie (Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1868, Seite 206).
9. Erzgebirgisches Roteisenerz. Vom Verfasser untersucht.
10. Roteisenerz von Krivoi-Rog in Südrufsland („Stahl und Eisen" 1901, Seite 64).

F. Magneteisenerze.

Sie bestehen aus Eisenoxyduloxyd mit verschiedenem Verhältnisse des Oxyduls zum Oxyd, nur bisweilen der Formel $Fe_3 O_4$ entsprechend. Ihre Farbe ist schwarz oder grünlich schwarz, der Strich schwarz; bekannt ist die magnetische Eigenschaft dieses Erzes.

Die Magneteisenerze kristallisieren im regelmäfsigen Systeme, finden sich aber häufiger in derben körnigen oder dichten Massen; mitunter auch an den Küsten als Magneteisensand. In Lagern, Flötzen und Stöcken kommt das Erz zwischen den Gesteinen der Gneis- und Glimmerschieferreihen vor, nicht selten in der unmittelbaren Nähe von Roteisenerzen. Obgleich durchschnittlich die Magneteisenerze seltener als die bisher besprochenen Erze, auch als die Roteisenerze, auftreten, besitzen doch einzelne dieser Vorkommnisse durch ihre Mächtigkeit hohe Bedeutung und sind weit berühmt. Besonders reiche Erzlagerstätten finden sich in Skandinavien (Seite 34) und am Ural (Seite 29), nicht unbedeutend sind ferner einzelne Vorkommnisse in den Vereinigten Staaten Nordamerikas (Pennsylvanien, New York, New Jersey), in Ungarn sowie im Sächsischen Erzgebirge; auch am Harze, in Thüringen, in Schlesien werden Magneteisenerze gewonnen, obschon in geringeren Mengen. Nordafrika liefert neben Rot- und Brauneisenerzen auch vortreffliche Magneteisenerze; auch in Korsika und Sardinien treten Magneteisenerze auf. Arm an diesen Erzen dagegen ist Grofsbritannien.

Unter allen Erzen besitzt das reine Magneteisenerz seiner chemischen Zusammensetzung gemäfs den höchsten Eisengehalt. Beachtenswert ist allerdings, dafs annähernd reine Erze seltener unter den Magneteisenerzen als unter den Roteisenerzen vorkommen; daher wird der Eisengehalt, welchen manche der letzteren besitzen, nur selten von den Magneteisenerzen überboten. Auf deutschen Eisenwerken benutzt man ziemlich häufig schwedische Magneteisenerze als Zusatz zu eigenen eisenarmen Erzen zur Anreicherung des Eisengehalts der Beschickung. Der Phosphorgehalt ist in zahlreichen Fällen sehr gering, obschon einzelne Magneteisenerze eingewachsene Apatite enthalten. Solches phosphorarmes Magneteisenerz ist für Darstellung phosphorarmen Eisens sehr gesucht, und das schwedische, seiner vortrefflichen Eigenschaften halber berühmte Eisen, welches zum grofsen Teil aus Magneteisenerzen erblasen wird, verdankt jenen guten Ruf zumeist seiner Reinheit von Phosphor. Einzelne Erze sind mit Quarz durchwachsen; andere enthalten Kalkspat in ansehnlichen Mengen. Nicht selten findet sich ein gröfserer Gehalt an Schwefel-, Kupfer- oder Arsenkies; sonstige nicht seltene Begleiter des Magneteisenerzes sind Hornblende, Chlorit, Granat, Zinkblende, Bleiglanz. Eigentümlich für manche, insbesondere skandinavische und nordamerikanische Erze ist ein Gehalt an Titansäure, welcher häufiger und in gröfseren Mengen als in Roteisensteinen auftritt, mitunter bis zu 10 v. H. steigt. Dafs man früher diesem Titansäuregehalte einen nachteiligen Einflufs auf die Schmelzbarkeit der bei der Verhüttung

erfolgenden Schlacken zuschrieb, diese Meinung aber durch neuere Versuche widerlegt wurde, ist auf Seite 217 erwähnt worden.

Den erwähnten vortrefflichen Eigenschaften der Magneteisenerze steht als eine seine Verwendung erschwerende Eigenschaft seine Schwerreduzierbarkeit gegenüber. Unter allen bisher besprochenen Erzen ist der Magneteisenstein am schwierigsten reduzierbar. Durch oxydierende Röstung, welche das Eisenoxyduloxyd in Eisenoxyd überführt, wird das Erz aufgelockert und deshalb leichter reduzierbar; daher werden die Magneteisenerze häufig in geröstetem Zustande verarbeitet.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eisen . . .	64,47	59,51	44,26	63,78	55,67	45,84	48,85	52,96	63,00	60,00
Mangan . .	0,80	0,12	5,76	0,26	0,16	0,11	0,10	—	1,60	1,80
Kieselsäure .	2,78	12,44	1,75	6,48	9,70	32,66	30,05	9,50	3,12	7,10
Tonerde . .	1,36	0,38	0,20	1,35	2,25	0,18	1,70	9,48	1,90	2,40
Kalkerde . .	2,85	1,08	3,80	0,75	5,79	0,48	0,65	1,46	2,15	3,41
Magnesia . .	1,02	0,51	7,53	2,14	1,88	0,28	—	0,72	1,40	1,22
Schwefel . .	0,00	0,02	n. best.	n. best.	0,27	—	0,01	0,06	n. best.	0,08
Phosphor. .	0,95	0,18	Sp.	0,02	0,02	0,18	0,04	0,23	0,02	0,04
Titansäure .	—	—	—	—	—	—	—	4,40	—	—
Kohlensäure, Wasser . .	—	—	18,72	—	—	2,78	—	—	—	—

1. Phosphorreiches Magneteisenerz von Grängesberg in Schweden, auf westfälischen Eisenwerken verhüttet. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 233 (Tiemann).
2. Von der Danielgrube in Grängesberg. Jernkontorets Annaler 1875, Seite 356 (Lundström)
3. Magneteisenerz von Norberg in Schweden. Im Laboratorium des Verfassers untersucht.
4. Magneteisenerz von Taberg in Schweden. Wie 3.
5. Magneteisenerz von Berggießhübel bei Pirna. Wie 3.
6. Von Grube Röddecker bei Elbingerode am Harz. Im Laboratorium der Berliner Bergakademie untersucht (Dürre, Anlage usw., Seite 15).
7. Vom Lake Champlain (Wedding, Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten von Nordamerika, Seite 5).
8. Aus New Jersey (Wedding, a. a. O., Seite 6).
9. Von Wissokaja Gora am Ural. („Stahl und Eisen" 1901, Seite 64).
10. Von Blagsdat Gora am Ural. Wie 9.

G. Eisenreiche, zur Eisendarstellung verwendete Nebenerzeugnisse anderer Verfahren.

Hierher gehören zunächst eisenreiche Schlacken, welche bei der Darstellung schmiedbaren Eisens entstehen und ihres Eisengehalts halber wieder für die Verhüttung herangezogen werden. In der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde ist ihre Zusammensetzung ausführlicher besprochen. Vornehmlich kommen Puddel- und Schweißofenschlacken zur Verwendung; in Gegenden, wo noch Frischfeuerbetrieb besteht, sind die hierbei erfolgenden Schlacken ebensogut wie jene benutzbar. Auch Schlackenhalden aus früheren Jahrhunderten, teils Frischfeuerschlacken, teils Renn-

feuerschlacken[1]) enthaltend, werden hier und da noch aufgegraben, um durch Wiederverhütung nutzbar gemacht zu werden.

Alle diese Schlacken enthalten etwa 50 v. H. Eisen oder noch etwas darüber. Puddelschlacken sind häufig reich an Phosphor (2—4, ausnahmsweise bis 7 v. H.) und deshalb besonders gesucht, wenn es sich um Darstellung phosphorreichen Roheisens (Thomasroheisens) handelt und ausreichend phosphorreiche Erze nicht zur Verfügung stehen; phosphorärmer sind Schweifsofenschlacken und die meisten Frischfeuerschlacken. Erschwert wird die Verhüttung der Schlacken durch ihre Schwerreduzierbarkeit; sie bestehen aus Eisensilikaten, deren Eisengehalt schwieriger den reduzierenden Einwirkungen des Verhüttungsverfahrens zugänglich ist als der Eisengehalt der meisten Erze. Auch eine Röstung, durch welche manche Erze (Spate, Sphärosiderite, Magneteisenerze) leichter reduzierbar werden, wie schon erwähnt wurde, hat bei den Schlacken wenig Erfolg.

Nicht minder wichtig als diese Schlacken sind für den Eisenhüttenbetrieb der Jetztzeit die Rückstände geworden, welche bei der Schwefelsäuredarstellung aus Schwefelkiesen hinterbleiben und Kiesabbrände oder auch Purpurerze genannt werden. Sie sind sehr reich an Eisen (meistens 60—65 v. H.) und daher besonders als Zusatz zu armen Erzen wertvoll; ihr Phosphorgehalt beträgt selten mehr als 0,01 v. H., wodurch sie vor allem für die Darstellung phosphorarmen Roheisens (z. B. Bessemerroheisens) geeignet erscheinen.

Ohne weiteres würden allerdings diese Abbrände in dem Zustande, in welchem sie die Röstöfen der Schwefelsäurefabriken verlassen, für die Eisendarstellung gewöhnlich nicht brauchbar sein. Sie enthalten noch reichliche Mengen von Schwefel (mitunter über 6 v. H.) und Zink (bis 12 v. H.), welche die Verhüttung wesentlich erschweren, wenn nicht unmöglich machen würden; daneben andere Bestandteile (Kupfer, Silber, Nickel), deren zuvorige Gewinnung von Nutzen sein kann. Man unterzieht also die gerösteten Kiese entweder auf der Schwefelsäurefabrik selbst oder auch auf dem Eisenwerke, welches sie zu verhütten beabsichtigt, einem Vorbereitungsverfahren durch Mahlen, Mischen mit Kochsalz, Rösten und Auslaugen, wobei Schwefel entfernt wird, Kupfer, Zink, Silber, Nickel in Lösung gehen. Aus der Lauge werden Kupfer, Silber, kleine Mengen Gold, mitunter auch Nickel und Kobalt durch Verfahren abgeschieden, deren Beschreibung in das Gebiet der weiteren Metallhüttenkunde gehört; die gereinigten Abbrände aber werden dem Eisenwerke überwiesen. Ihr Eisengehalt ist jetzt zum gröfsten Teile in Eisenoxyd (Fe_2O_3) umgewandelt.

Der Blei-, Arsen- und Antimongehalt bleibt seiner gröfsten Menge nach in den ausgelaugten Kiesabbränden zurück und kann, wenn er beträchtlich ist, den Wert beeinträchtigen[2]). Die Abbrände aber sind, da sie vor dem chlorierenden Rösten gemahlen wurden,

---

[1]) Rennfeuer sind die zur Darstellung von schmiedbarem Eisen unmittelbar aus Erzen benutzten, jetzt fast gänzlich verschwundenen Feuer.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 639.

kleinmulmig, wodurch ihre Verarbeitung erschwert und es unmöglich gemacht wird, sehr beträchtliche Mengen den Erzen zuzusetzen. Mehrfach hat man versucht, den Übelstand zu beseitigen, indem man sie durch Pressen zu Ziegeln formte, bisweilen unter Zusatz eines Bindemittels (Melasse, Hochofengichtstaub), ohne daſs jedoch das Verfahren allgemein in Anwendung gekommen wäre [1]).

Beispiele der Zusammensetzung ausgelaugter Kiesabbrände.

	1	2	3	4
Eisen	65,80	63,62	64,94	45,81
Mangan	Sp.	0,04	0,02	0,28
Kieselsäure	1,66	4,67	2,77	7,77
Tonerde	n. best.	1,82	0,26	1,30
Kalkerde	0,10	0,46	0,41	1,14
Magnesia	Sp.	0,12	0,07	0,48
Kupfer	0,02	0,04	0,12	0,05
Blei	0,14	0,45	1,07	0,83
Zink	0,03	0,24	0,25	10,59
Arsen	0,00	0,05	0,03	0,01
Antimon	0,02	0,06	0,04	0,01
Schwefel	0,67	0,55	0,47	6,40
Phosphor	0,01	0,01	0,01	0,01

1. Auf einem rheinischen Eisenwerke verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
2. Auf einem oberschlesischen Eisenwerke verhüttet. Vom Verfasser untersucht.
3. Wie 2.
4. Schlecht geröstete und ausgelaugte Kiese, von einem westfälischen Eisenwerke angekauft, aber wegen des hohen Zink- und Schwefelgehalts nicht verarbeitet. Vom Verfasser untersucht.

H. Manganerz.

Reine Manganspate ($MnCO_3$) und Manganite ($H_2Mn_2O_4$) eignen sich zwar, zumal im gerösteten Zustand, vortrefflich zur Darstellung von manganreichen Eisensorten, sind aber verhältnismäſsig selten. In gröſseren Mengen finden sich Braunsteine, im reinen Zustande aus Mangansuperoxyd (MnO_2) bestehend (Pyrolusit), und Waderze, welche Mangansuperoxyd, Manganoxydul und Wasser enthalten, teils verhältnismäſsig rein, teils mit Kiesel, Kalkspat, Eisenoxyd vermengt. Für die Verwendung zur Darstellung manganreicher Eisenlegierungen sind diejenigen die wertvollsten, deren Kieselsäuregehalt niedrig ist; auch ein gröſserer Eisengehalt ist aus naheliegenden Gründen nicht erwünscht. Noch weniger zulässig ist ein hoher Phosphorgehalt, welcher bei der Verhüttung in das Metall übergehen und dessen Benutzbarkeit verringern würde.

[1]) Über ein derartiges Verfahren in Georgs-Marienhütte: H. Müller, Der Georgs-Marien-Bergwerks- und Hüttenverein, Osnabrück 1896, 2. Teil, Seite 46. Man erzeugte dort im Jahre 1894 20000 t Erzziegeln.

Fundstätten dieser Erze sind Nassau, Ungarn, Spanien (Huelva), der Kaukasus, Kanada, Chile, Java u. a.

Beispiele für die Zusammensetzung.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mangan	52,78	44,74	55,03	51,98	51,63	36,87	57,60	54,80	51,48
Eisen	1,89	5,02	1,40	14,24	13,72	11,63	7,30	7,20	5,60
Kieselsäure	6,20	13,95	8,30	2,15	0,87	15,15	2,75	2,50	9,52
Tonerde	1,40	n.best.	n.best.	2,50	0,69	n.best.	2,97	6,56	—
Kalkerde	3,40	n.best.	n.best.	0,80	1,52	n.best.	2,20	0,18	—
Magnesia	—	—	—	—	—	—	1,60	0,52	—
Schwefel	—	n.best.	—	0,02	—	—	—	—	—
Phosphor	0,15	0,10	0,01	0,12	—	0,14	0,02	0,03	0,09

1. Pyrolusit von Huelva. Wird auf französischen und deutschen Eisenwerken verarbeitet (Kerpely, „Eisen und Stahl“ auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878, Seite 75).
2. Wie 1 („Stahl und Eisen“ 1896, Seite 268).
3. Kanadisches Manganerz. Wie 2.
4. Ungarisches Manganerz, auf Schmelzwerk Oláhpatak verarbeitet (Kerpely, Ungarns Eisensteine, Seite 42).
5. Ungarisches Manganerz aus dem Eisenburger Komitat (Kerpely, Ungarns Eisensteine, Seite 42).
6. Nassauisches Manganerz (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 196).
7. Manganerz von Nischni Tagilsk am Ural („Stahl und Eisen“ 1901, Seite 64).
8. Manganerz von Sapalski am Ural („Stahl und Eisen“ 1901, Seite 64).
9. Indisches Manganerz, auf der Niederrheinischen Hütte verarbeitet („Stahl und Eisen“ 1902, Seite 894).

2. Die Zuschläge.

Der schon erwähnte Zweck der Zuschläge ist, bei Verhüttung von Erzen die ihnen beigemengten fremden Gesteine in solcher Weise zu verschlacken, dafs die Schmelztemperatur und chemische Beschaffenheit der Schlacke den Erfordernissen des Schmelzverfahrens entspricht, mitunter auch, obschon in nur seltenen Fällen, die Menge der überhaupt entstehenden Schlacke, welche verschiedene Aufgaben beim Schmelzen des Eisens zu erfüllen hat, anzureichern. Auch bei der Verarbeitung von Roheisen werden nicht selten Zuschläge gegeben, um Schlacken von solcher Zusammensetzung zu bilden, wie sie durch die Eigentümlichkeiten des Verfahrens bedingt ist (Kupolofenschmelzen, Thomasverfahren u. a.).

Hieraus folgt, dafs die Wahl der Zuschläge nicht nur von der Art des Schmelzverfahrens, sondern bei der Erzverhüttung auch vornehmlich von der Zusammensetzung der zur Verwendung stehenden Eisenerze abhängig sein mufs.

A. Basische Zuschläge.

Wenn bei irgendeinem Schmelzverfahren die schlackenbildenden Körper mehr Kieselsäure oder Tonerde enthalten, als zur Bildung einer Schlacke von entsprechender Schmelzbarkeit zulässig ist, oder wenn aus irgendeinem Grunde stärker basische

Schlacken gebildet werden müssen, als durch das Zusammenschmelzen der anwesenden schlackenbildenden Körper zu erreichen ist, müssen basische Zuschläge gegeben werden. Dieser Fall ist unter allen, wo man überhaupt Zuschläge gibt, bei weitem am häufigsten. Die meisten für die Verhüttung im Hochofen bestimmten Erze sind reicher an Kieselsäure, oder an Kieselsäure und Tonerde, als zur Erzielung eines erfolgreichen Schmelzens zulässig ist; wird Roheisen umgeschmolzen (Kupolofenschmelzen), so sind basische Zuschläge erforderlich, um den anhaftenden Sand und, wenn man Koks als Brennstoffe benutzt, deren Asche zu verschlacken; soll aus phosphorreichem Roheisen phosphorarmes Flufseisen erzeugt werden, so sind wiederum basische Zuschläge erforderlich, um die Verbrennung und Verschlackung des Phosphors zu ermöglichen (Seite 44).

Als Base dient in diesen Fällen meistens Kalk, mitunter daneben Magnesia. Dafs ein mäfsiger Magnesiagehalt die Schmelztemperatur reiner Kalksilikate zu erniedrigen vermöge, wurde auf Seite 210 erläutert. Man verwendet demnach als Zuschläge Kalkstein oder Dolomit. Die weite Verbreitung dieser Gesteine auf der Erde, welche in den meisten Gegenden die Möglichkeit für Beschaffung gröfserer Mengen gewährt, ist für den Eisenhüttenbetrieb von Wichtigkeit. Wenn man erwägt, dafs manchen Erzen mehr als 40 v. H. ihres Eigengewichts Kalkstein zugeschlagen werden mufs, wird man ermessen können, dafs für die Darstellungskosten des Eisens auch der Preis jenes Zuschlags bedeutungsvoll ist.

Der Kalkstein (Calciumkarbonat $CaCO_3$) enthält im reinen Zustande 56 Gewichtsteile Kalkerde und 44 Gewichtsteile Kohlensäure, so dafs man, um 100 Teile Kalkerde in die Schlacke zu führen, 178,7 Gewichtsteile des Karbonats verwenden mufs. Da der Kalkzuschlag, wie erwähnt, vorzugsweise zur Verschlackung der Kieselsäure oder, richtiger, zur Herstellung eines geeigneten Verhältnisses zwischen Kieselsäure und Basen dienen soll, verliert der Kalkstein als Zuschlag um so mehr an Wert, je reicher er selbst an Kieselsäure ist; denn nicht allein wird unmittelbar der Gehalt seines nutzbaren Bestandteils dadurch abgemindert, sondern die von dem Kalkstein zugeführte Kieselsäure bindet auch wieder eine entsprechende Menge seines eigenen Kalkgehalts und entzieht diese dadurch ihrer Bestimmung.

Versteinerungsreiche Kalksteine enthalten mitunter Phosphorsäure in gröfseren Mengen und sind deshalb, wenn phosphorreine Eisensorten dargestellt werden sollen, nur mit Vorsicht zu verwenden; andere enthalten Schwefel- und Kupferkies, Bleiglanz, Galmei, Gips. Einige sind reich an Eisen und bilden, sofern ihre sonstige Zusammensetzung nicht ihre Verwendung für Eisendarstellung ausschliefst, die früher erwähnten Übergänge zu den Eisenerzen.

Am wertvollsten ist der kristallinisch körnige Kalkstein (Marmor), weil er durchschnittlich den gröfsten Gehalt an Kalk, den geringsten an schädlichen Bestandteilen besitzt. Wo dieser nicht zu einem ausreichend billigen Preise zu erhalten ist, verwendet man möglichst reinen dichten Kalkstein als Zuschlag,

der aber mitunter durch eingeschlossene Reste von Tieren phosphorhaltig, auch nicht selten durch Ton oder Sand verunreinigt ist. Auch oolithischer Kalkstein, welcher jedoch ebenfalls phosphorhaltig zu sein pflegt, wird hier und da als Zuschlag benutzt.

Dolomit ist Calcium-Magnesiumkarbonat mit verschiedenem Verhältnisse des Calciums zum Magnesium, im Mittel etwa 60 Teile Calciumkarbonat neben 40 Teilen Magnesiumkarbonat enthaltend. Er tritt teils körnig, teils dicht auf; einige Dolomite enthalten als nachteilige Beimengung gröfsere Mengen von Kieselsäure; auch Zinkblende, Arsenkies, Schwefelkies finden sich bisweilen.

Beispiele der Zusammensetzung der Zuschlags-Kalksteine und -Dolomite.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kalkerde	51,85	52,58	55,33	33,21	26,65	29,06	33,64	39,40	54,21
Magnesia	—	1,58	1,86	16,00	16,48	11,84	0,70	13,00	1,35
Eisen	Spur	0,51	—	0,77	3,42	0,26	16,35	0,50	0,50
Mangan	Spur	—	—	—	Spur	—	2,82	0,10	—
Tonerde	—	0,12	0,75	4,70	Spur	0,71	0,63	0,40	0,20
Kieselsäure	2,10	1,17	2,10	2,40	11,00	1,54	1,92	2,25	0,86
Phosphor	—	—	0,01	n.best.	—	—	—	0,02	n.best.
Schwefel	Spur	Spur	0,11	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	0,04	n.best.
Kohlensäure . . .	40,75	43,06	42,89	n.best.	41,17	n.best.	n.best.	44,50	n.best.

1. Kristallinischer Kalkstein von Meifsen. Auf sächsischen Werken als Zuschlag benutzt. Vom Verfasser untersucht.
2. Ungarischer kristallinischer Kalkstein. Auf Eisenwerk Krompach verwendet. Vom Verfasser untersucht.
3. Kalkstein von Limburg a. d. Lenne, in Dortmunder Union verarbeitet (Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 189).
4. Dolomitischer Zuschlagskalkstein aus der Eifel, in Eisenwerk Jünkerath verhüttet (Dürre, Anlage der Eisenhütten, Seite 191).
5. Dolomitischer Zuschlagskalkstein von Ostrau in Sachsen. Auf sächsischen Werken als Zuschlag benutzt. Vom Verfasser untersucht.
6. Dolomitischer Kalkstein von Crimmitschau. In Königin-Marienhütte als Zuschlag benutzt. Vom Verfasser untersucht,
7. Eisenschüssiger Kalkstein aus Thüringen. Enthält auch 1,15 Hundertteile Baryt. Übrigens wie 6.
8. Dolomitischer Kalkstein vom Ural („Stahl und Eisen“ 1901, Seite 66).
9. Kalkstein von Dornap. Auf der Niederrheinischen Hütte als Zuschlag benutzt („Stahl und Eisen“ 1902, Seite 894).

Wenn stark kalkreiche und trotzdem nicht allzu strengflüssige Schlacken gebildet werden sollen, schlägt man neben dem Kalkstein oder Dolomit mitunter Flufsspat zu. Auf Seite 217 wurde der Eigenschaft des Flufsspats, leichtflüssige Schlacken zu bilden, Erwähnung getan. Für den regelmäfsigen Gebrauch aber würde er wegen seines hohen Preises und wegen der starken Abnutzung der Ofenwände durch flufsspathaltige Schlacken nicht geeignet sein.

Einige Erze, insbesondere Spateisensteine, führen übrigens schon als natürliche Beimengung Flufsspat in die Schlacke und besitzen aus diesem Grunde die Eigenschaft, leicht schmelzbare, dünnflüssige Schlacken zu liefern.

B. Kieselsäurehaltige Zuschläge.

In den seltenen Fällen, wo der Basengehalt eines zu verschmelzenden Erzes oder Erzgemisches zu beträchtlich ist, um Schlacken von erforderlicher Schmelzbarkeit zu liefern, schlägt man Gesteine zu, welche Kieselsäure, daneben auch Tonerde zuführen, sofern es an letzterer fehlt. Die Wahl dieser Gesteine hängt zum Teil von örtlichen Verhältnissen, d. h. von ihrem Vorkommen in der betreffenden Gegend, ab. Bisweilen benutzt man Tonschiefer, in selteneren Fällen Gabbro, Diabas, Granit. Als Mittelwerte der chemischen Zusammensetzung dieser Gesteine kann man annehmen:

	Kieselsäure	Tonerde	Eisenoxydul und -Oxyd	Magnesia, Kalkerde	Alkalien, Wasser, Kohlensäure
Tonschiefer	60	19	8	3	10
Gabbro . .	50	15	15	10	10
Diabas . .	50	16	13	10	11
Granit . .	72	16	2	2	8

Bei anderen Verfahren als der Erzverhüttung kommen solche kieselsäurehaltigen Zuschläge nicht in gröfseren Mengen zur Verwendung; ein geringer Bedarf (z. B. beim Schweifsen des Eisens) wird durch gewöhnlichen Sand gedeckt. Auch wo man kalkreiche Erze verhüttet, ist fast immer die Gelegenheit vorhanden, sie mit kieselsäurereichen Erzen in geeigneten Gewichtsverhältnissen zu mischen und solcherart die Anwendung besonderer kieselsäurehaltiger Zuschläge entbehrlich zu machen.

3. Die Vorbereitungsarbeiten [1]).

A. Die Zerkleinerung.

Für die Verhüttung der Erze und Zuschläge ist es wünschenswert, dafs sie eine bestimmte, von der Art des Schmelzverfahrens und insbesondere von der Höhe des Schmelzofens abhängige Korngröfse besitzen.

Je kleiner die einzelnen Stücke sind, desto gröfser ist das Verhältnis ihrer Oberfläche zu ihrem Rauminhalte, desto günstiger gestaltet sich mithin die Wärmeabgabe, desto zugänglicher sind sie den reduzierenden Einflüssen. Anderseits finden bei der Verhüttung der Erze die bei der Verbrennung des Brennstoffs gebildeten Gase, welche zwischen den einzelnen Stücken der Erze, Zuschläge und festen Brennstoffe hindurch ihren Weg nehmen müssen, einen um so gröfseren Widerstand, je dichter jene aufeinanderliegen, d. h. je feinstückiger sie sind, und je höher ihre Schüttung ist. Die zweckmäfsigste Stückgröfse der Erze ist daher durch die Höhe des Schmelzofens bedingt und mufs mit dieser zunehmen. In den niedrigen, zur Darstellung schmiedbaren Eisens

[1]) Die mechanischen Vorbereitungsarbeiten, deren Besprechung in das Gebiet der Aufbereitungslehre gehört, konnten hier nur in aller Kürze geschildert werden. Ausführlicheres hierüber findet der Leser in den unter Literatur genannten Werken über Aufbereitung der Erze.

aus Erzen noch hier und da benutzten Feuern können Erze von nicht mehr als Erbsen- oder Bohnengröfse am vorteilhaftesten sich erweisen; in niedrigen Holzkohlenhochöfen pflegt man Walnufsgröfse als die geeignetste zu betrachten; in den gröfseren Kokshochöfen dagegen sind Stücke von Faustgröfse und darüber geeigneter als feinstückigere.

Nicht selten werden die Erze schon von der Natur in einem feinstückigeren Zustande geliefert, als wünschenswert ist, und man hat zahlreiche, aber nur in vereinzelten Fällen von befriedigendem Erfolge gekrönte Versuche gemacht, solche feinstückigen Erze durch Zusatz eines Bindemittels und durch Pressen in eine für das Schmelzen besser geeignete Form zu bringen; auch für die feinkörnigen Kiesabbrände ist das gleiche Verfahren in Anwendung gekommen (Seite 240). Wo aber die Erze oder Zuschläge in einem allzu grofsstückigen Zustande geliefert werden, kann eine der Verhüttung vorausgehende Zerkleinerung notwendig oder wenigstens zweckmäfsig sein. Man benutzt hierfür Zerkleinerungsmaschinen, deren Hauptformen nachstehend kurz geschildert sind.

a) Pochwerke.

Drei oder mehr Stempel, in Führungen senkrecht beweglich, werden abwechselnd durch Daumen gehoben, um auf die unter ihnen befindlichen Erzstücke niederzufallen und sie zu zerkleinern.

Die Pochwerke bilden die älteste[1]), aber zur Zerkleinerung von Eisenerzen, welche nur bis zu einer bestimmten, nicht allzu kleinen Korngröfse zerkleinert werden dürfen, die am wenigsten vollkommene Vorrichtung. Sie sind deshalb auf Eisenwerken nur noch selten in Anwendung. Während man andere Erze (Bleierze u. a.), welche stärker zerkleinert werden, nafs, d. h. unter Zuflufs von Wasser, zu pochen pflegt, um Verstäubung zu vermeiden, werden die Eisenerze, bei deren Zerkleinerung überhaupt kein Staub gebildet werden soll, nur trocken gepocht.

Einen Nachteil der Pochwerke bildet der Umstand, dafs die Fallhöhe und demnach auch die Schlagwirkung um so geringer ausfällt, je dicker das unter dem Pochstempel befindliche Erzstück ist. Gerade die gröfseren Stücke, welche kräftigere Schläge ertragen würden, ohne zu Mehl zerstampft zu werden, erhalten schwächere Schläge, die kleineren stärkere. Aus diesem Grunde ist es schwierig, Ungleichförmigkeiten in der Korngröfse des zerkleinten Erzes ganz zu vermeiden. Die Ausnutzung der mechanischen Arbeit ist aufserdem ziemlich ungünstig; man rechnet, dafs ein Pochwerk für je eine Pferdestärke der Betriebsmaschine in 12stündiger Arbeit 3—3,5 t Erz zu zerkleinern imstande sei, weniger als die nachfolgend beschriebenen neueren Zerkleinerungsmaschinen.

---

[1]) Sie stammen aus dem 15. oder 16. Jahrhundert. Nach A. Gurlt (Bergbau und Hüttenkunde, 2. Aufl., Seite 104) wurde 1507 das erste Pochwerk im Erzgebirge durch Sigismund von Maltitz, 1524 das erste Pochwerk auf dem Harze durch Peter Philipp gebaut.

b) Walzwerke.

Zwei gufseiserne, wagerecht liegende Walzen mit glatten oder geriffelten Oberflächen, welche parallel nebeneinander in einem entsprechend eingerichteten Gerüste gelagert sind, werden durch Getriebe, deren Wellen durch einfache Kupplungen mit den verlängerten Walzenzapfen verbunden sind, in entgegengesetzte Drehung versetzt, so dafs die zu zerkleinernden Erze, welche von oben her auf die Walzen geschüttet werden, vermöge der Reibung zwischen ihnen hindurch geführt und dabei auf die dem Abstande der Walzenoberflächen von einander entsprechende Korngröfse zerkleinert werden.

Die Anwendung geriffelter Walzen erleichtert hierbei die Mitnahme der aufgeschütteten Erzstücke; je stärker aber bei dem ein-

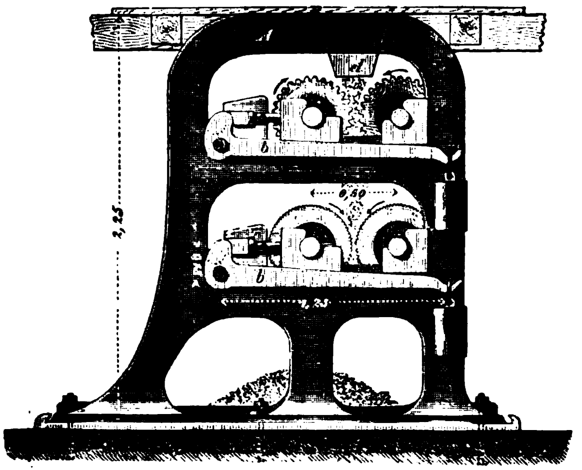


Abb. 70.

maligen Durchgange die Zerkleinerung, also auch der von den Erzen ausgeübte Widerstand ist, desto leichter sind die Riffeln der Walzen einer Beschädigung ausgesetzt. Aus diesem Grunde findet man nicht selten zwei Paar Walzen übereinander angeordnet; die oberen mit gröberen Riffeln und im weiteren Abstande von einander für die erste Zerkleinerung der aufgeschütteten Erze; die darunter befindlichen, feiner geriffelten und näher zusammengestellten für die letzte Zerkleinerung.

Ein Eisensteinswalzwerk mit zwei Walzenpaaren, wie es früher häufig angewendet wurde, ist in Abb. 70 dargestellt. Zwei kräftig gebaute Gufseisenständer *A* dienen zum Tragen der Walzenlager. Von diesen sind die an der rechten Seite befindlichen in ihrer Lage festgehalten; die Lager an der linken Seite dagegen sind in Führungen der Ständer nach links verschiebbar. In der Stellung, welche dem regelrechten Abstande der Walzenoberflächen von einander entspricht, werden sie durch die mit Gegengewichten beschwerten Hebel *bb* festgehalten, deren kürzere Arme gegen die

Bolzen *cc* und durch diese gegen die Lager drücken; gelangt ein allzu hartes Erzstück zwischen die Walzen, so weichen die Lager aus, drücken die Hebel empor und werden durch diese wieder in ihre richtige Stellung zurückgeführt, sobald das Erzstück die Walzen verlassen hat.

Alles Weitere wird ohne Erläuterung verständlich sein. Die Erze werden von der in der Ebene der Oberkante der Ständer angebrachten Bühne aus durch den Trichter *d* zwischen die Walzen geschüttet.

Man gibt den Walzen der Eisensteinswalzwerke 500—700 mm Durchmesser bei 500—900 mm Länge und eine Umfangsgeschwindigkeit von 500—900 mm in der Sekunde. Die Leistungsfähigkeit der Walzwerke ist von dem Härtegrade der Erze und von dem Mafse der Zerkleinerung abhängig, immerhin aber günstiger als die der Pochwerke. Durchschnittlich kann man für je eine Pferdestärke der Betriebsmaschine in 12stündiger Arbeit eine Leistung von 4 t zerkleinerten Erzes veranschlagen.

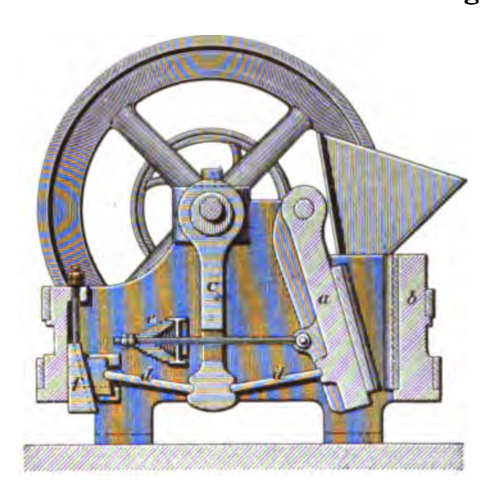
Vor den Pochwerken haben die Walzwerke den Vorteil, dafs die Korngröfse der in ihnen zerkleinerten Erze gleichmäfsig ist und leichter sich regeln läfst. Seit dem Anfange des 19. Jahrhunderts, wo sie zuerst in Cornwall für die Aufbereitung der Erze eingeführt wurden, haben sie daher in den Eisenhütten vielfach die Pochwerke verdrängt, bis sie in späterer Zeit wiederum durch die hierunter besprochenen Steinbrecher auf den meisten Werken ersetzt wurden.

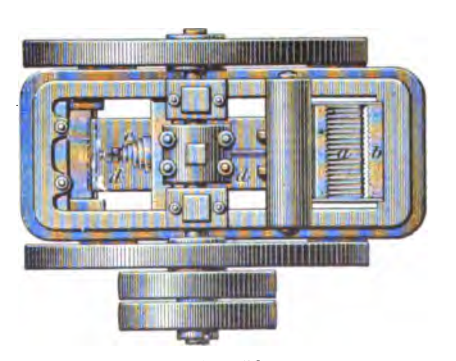
c) Erzquetschen oder Steinbrecher.

Diese im Jahre 1858 von dem Amerikaner Blake erfundenen Maschinen fanden, nachdem die ihnen zuerst anhaftenden Mängel glücklich beseitigt worden waren, zunehmende Verbreitung und sind jetzt auf den Eisenwerken die am häufigsten benutzten Zerkleinerungsmaschinen für Erze und Zuschläge. Ihre Vorzüge gegenüber den bisher besprochenen Maschinen bestehen vornehmlich in einer geringen Raumbeanspruchung bei gröfserer Leistungsfähigkeit; den Pochwerken gegenüber zeichnen sie sich aufserdem durch gröfsere Gleichmäfsigkeit der Korngröfse der zerkleinten Körper und die leichte Regelung dieser Korngröfse vorteilhaft aus.

Abb. 71 und 72 auf Seite 248 zeigen die allgemeine Einrichtung einer solchen Erzquetsche, zum Zerkleinern der Erze für den Hochofenbetrieb geeignet. Eine bewegliche und eine feste Backe *a* und *b*, aus Hartgufs oder Stahl gefertigt und mit geriffelter Oberfläche versehen, dienen zur Zerkleinerung der dazwischen gebrachten Erzstücke. Die feste Backe ist in der Giebelwand des kräftigen gufseisernen Rahmens, welcher zum Tragen sämtlicher Teile der Maschine dient, mit Keilen befestigt; die Backe *a* ist in ähnlicher Weise in einer starken Gufseisenplatte befestigt, welche pendelartig um eine wagerechte Achse schwingt und bei ihrer Hin- und Herbewegung die Backen in rascher Aufeinanderfolge abwechselnd einander nähert und voneinander entfernt. Die von oben zwischen die Backen geworfenen Erzstücke rücken hierbei immer tiefer und werden zu einer dem Abstande der Backen von einander an der

engsten Stelle entsprechenden Korngröfse zerdrückt. Zur Hervorbringung jener Bewegung der Backe *a* ist in der Mitte der Maschine die von der Riemenscheibe aus angetriebene, mit zwei Schwungrädern versehene gekröpfte Welle gelagert, welche die an ihrer Kröpfung angreifende Zugstange *c* in auf und ab gehende Bewegung versetzt. Hierdurch wird der aus zwei starken Eisenplatten gebildete Kniehebel *dd* abwechselnd gebeugt und gestreckt und erteilt, wie aus Abb. 71 unschwer zu erkennen ist, der Backe *a* die beschriebene Bewegung. Die Spiralfeder *e* führt durch Vermittlung einer Zugstange die Backe nach beendigtem Hube rasch in die Anfangsstellung zurück und verhindert dadurch, dafs der nur lose eingesetzte Hebel zwischen Backe und Zugstange herausfalle.


Abb. 71.


Abb. 72.

Durch Einsetzen verschieden langer Hebel lassen sich verschiedene Korngröfsen erzielen.

Man gibt den Erzquetschen ungefähr 200 Hübe in einer Minute. Eine Maschine zerkleint mit einem Arbeitsaufwande von 3—4 Pferdestärken 10 t Spateisenstein und Kalkstein in etwa $1^1/_2$ Stunden auf Faust- bis Eigröfse; also für je eine Pferdestärke in 12stündiger Arbeit etwa 20 t. Auch bei Zerkleinerung härterer Erze auf geringere Korngröfse ist die Leistung immerhin günstiger als bei Walzwerken und läfst sich auf mindestens 6 t veranschlagen.

B. Das Waschen.

Mitunter, wenn auch nicht gerade häufig, unterwirft man die Erze einem Waschverfahren, um ihnen einen Teil ihrer fremden Beimengungen, insbesondere des anhaftenden Tons und Sandes, zu entziehen. Vorzugsweise sind es die mit Ton durchsetzten Bohnerze, welche in dieser Weise behandelt werden.

Die einfachste, zum Waschen von sandhaltigen Rasenerzen mitunter benutzte Vorrichtung besteht aus G e r i n n e n (G r ä b e n) mit einer Neigung von 5—10°, in welchen die Erze der Einwirkung

fliefsenden Wassers ausgesetzt und durch eine Reihe am Rande des Grabens aufgestellter Arbeiter mit Krücken dem Strome wiederholt entgegengeführt werden. Nach Rittinger[1]) soll man den aus Holz gezimmerten Gerinnen etwa 0,65 m Breite, 0,30 m Tiefe und 2,5—3,75 m Länge bei einer Neigung von höchstens 18 mm auf 1 m Länge geben. Zweckmäfsig kann es sein, in diesen Gerinnen einzelne quer durchgehende Schwellen anzuordnen, hinter welchen das Wasser und Erz sich stauen; die obere Seite der Schwelle wird abgeschrägt, so dafs sie nach rückwärts gegen den Boden des Gerinnes sich als schiefe Ebene ansetzt und die Schwelle dreiseitigen Querschnitt erhält. Das Wasser mit den Schlammteilchen läfst man ablaufen; die Erze werden nach beendigter Wäsche mit siebartig durchlochten Schaufeln ausgeschöpft. Bei einem Verbrauche von $^1/_4$—$^1/_2$ cbm Wasser in der Minute beträgt die Menge des gewaschenen Erzes bis zu 10 t in der Stunde, sofern es nicht an Arbeitskräften fehlt.

In ähnlicher Weise wäscht man in manchen Gegenden Japans den dort auftretenden Magneteisensand, und zwar mehrmals, zunächst an der Gewinnungsstätte, wenn dort fliefsendes Wasser sich findet, zuletzt bei der Hütte. Eine solche japanische Erzwäsche ist in Abb. 73 auf Seite 250 dargestellt. Man sieht im Vordergrunde das Gerinne, aus welchem ein Arbeiter das gewaschene Erz herausholt, davor die Erzhaufen. Oben ist das Hüttengebäude erkennbar, in welchem das Erz unmittelbar auf schmiedbares Eisen verarbeitet wird. Die Anreicherung, welche das Erz durch solches wiederholtes Waschen erfährt, ist erheblich. Während der rohe Sand mitunter nicht über 1 v. H. Eisen enthält, beträgt der Gehalt des fertig gewaschenen Erzes bis 60 v. H.

Bei den hohen Arbeitslöhnen jedoch, welche das Waschen durch Handarbeit erheischt, wendet man, wo es in gröfserem Umfange durchgeführt werden soll, Maschinen an.

Mitunter benutzt man halbzylindrische Tröge, in welchem eine Schraube mit wagerechter Achse sich dreht und das an einem Ende eingeschüttete Erz vorwärts schiebt, dabei vermöge der stattfindenden Reibung Sand und Ton ablösend, während ein Wasserstrom in entgegengesetzter Richtung eingeführt wird und den Schlamm fortführt.

Häufiger sind umlaufende Trommeln aus Eisenblech. Die Achse dieser Trommeln ist wagerecht oder schwach geneigt; das Erz wird an der einen Seite eingeschüttet und allmählich vorwärts geschoben, um an dem entgegengesetzten Ende die Trommel zu verlassen. Durch die stattfindende Reibung und die Wirkung eines ununterbrochen hindurchgehenden Wasserstroms werden die fremden Teile entfernt; jene Bewegung des Erzes erfolgt entweder durch schraubenartig gewundene, an der Innenwand angebrachte Gänge aus Winkeleisen oder durch die geneigte Richtung der Trommelwand selbst. Das Wasser wird häufig in umgekehrter Richtung als die Erze zu- und abgeleitet. Die Stirnflächen der Trommeln sind so weit geschlossen, als erforderlich ist, die nötige

[1]) Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Seite 232.

Wassermenge in der Trommel zu erhalten. Hinsichtlich der Einzelheiten dieser Vorrichtungen möge auf die unten gegebene Literatur über Aufbereitung verwiesen werden[1]).



塲洗精鉄砂

Abb. 73.

C. Das Rösten.

a) Erklärungen.

Rösten der Eisenerze nennt man eine vorbereitende Erhitzung, in der Regel ohne Schmelzung. Im geschmolzenen Zustande der Erze würde eine Verschlackung der Eisenoxyde mit den fremden Bestandteilen eintreten, und die ersteren würden dadurch an Reduzierbarkeit verlieren, wie auch alle eisenhaltigen Schlacken schwieriger reduzierbar sind als die freien Eisenoxyde.

Aus diesem Grunde steigert man beim Rösten der Eisenerze die Temperatur gewöhnlich auch nicht bis zum Sintern, d. h. beginnenden Zusammenbacken; Ausnahmen kommen allerdings vor

[1]) Abbildungen von Eisenerzwäschen: Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. I, Taf. 38, 39 und 40; Journal of the United States Association of Charcoal Iron Workers, vol. VI, p. 57; Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 2, Tafel XIV.

und sind durch besondere, später zu erörternde Gründe gerechtfertigt.

b) Zweck und Anwendung des Röstens.

In einzelnen Fällen, wenn auch in der Jetztzeit sehr selten, beabsichtigt man nur, eine Auflockerung harter und dichter Erze durch die Temperaturveränderungen, also durch rein physikalische Einflüsse, herbeizuführen. Risse und Spalten entstehen in den Erzstücken; das Erz wird mürbe, läfst sich besser zerkleinern und ist den Einflüssen reduzierender Gase leichter zugänglich. Der Erfolg des Röstens wird in diesem Falle erleichtert, wenn man das noch heifse Erz mit kaltem Wasser ablöscht.

Häufiger beabsichtigt man, chemische Umwandlungen auszuführen, welche in verschiedener Richtung sich erstrecken können.

Hierher gehört eine Höheroxydation niedrigerer Oxydationsstufen des Eisens. Es mag auffällig erscheinen, dafs man als Vorbereitung für ein reduzierendes Schmelzen eine Höheroxydation anstrebt; die scheinbar widersinnige Tatsache, dafs die sauerstoffreichere Verbindung leichter reduzierbar als die sauerstoffärmere ist, findet jedoch in dem Umstande ihre Erklärung, dafs bei der Höheroxydation eine Auflockerung stattfindet, welche insbesondere die Einwirkung reduzierender Gase erleichtert. Daher werden die im rohen Zustande schwierig reduzierbaren Magneteisenerze durch Röstung um so leichter reduzierbar, je vollständiger ihr Eisengehalt dabei in Eisenoxyd Fe_2O_3 umgewandelt wird [1]).

Eine andere, beim Rösten bisweilen angestrebte chemische Umwandlung ist die Zerlegung von Hydroxyden. Sämtliche Brauneisenerze sind Hydroxyde, welche schon in ziemlich niedriger Temperatur unter Verflüchtigung des Wassergehalts zerlegt und in Roteisenerze umgewandelt werden. Diese Wasserverdampfung erheischt Wärme [2]), und deswegen kann die Vermutung nahegelegt werden, dafs man bei der späteren Verhüttung, für welche in der Regel ein wertvollerer Brennstoff als zum Rösten erforderlich ist, an Brennstoff sparen könne, wenn man die Brauneisenerze einem vorausgehenden Rösten unterzieht. Die Erfahrung hat jedoch diese Annahme in der Regel nicht bestätigt, und zwar aus dem Grunde nicht, weil bei der Verhüttung in den meisten Fällen überschüssige Wärme zur Genüge vorhanden ist, um jene Zersetzung zu bewirken. Deshalb sieht man jetzt in der Regel von der Röstung der Brauneisenerze ab, sofern nicht andere Gründe die Röstung erforderlich machen.

Häufiger ist die Zerlegung von Karbonaten Zweck der Röstung. Karbonate sind die Spateisensteine und Sphärosiderite, die Kalksteine und Dolomite.

---

[1]) Näheres in den unter Literatur genannten Schriften Tholanders und Wiborghs.

[2]) Die Zerlegung der chemischen Verbindung geht ohne erheblichen Wärmeverbrauch vor sich; Wedding berechnet sogar, dafs ein geringer Wärmegewinn damit verknüpft sei (Eisenhüttenkunde, Bd. 1, Seite 909).

Spateisensteine und Sphärosiderite entlassen bei der Zersetzung ein Gemisch von Kohlendioxyd und Kohlenoxyd und hinterbleiben als Eisensauerstoffverbindungen, deren Sauerstoffgehalt in jedem Falle höher ist als der des Eisenoxyduls FeO. Nach Wedding[1]) vollzieht sich der Vorgang, sofern die äufsere Luft keinen Zutritt findet, nach der Formel

$$6\,FeCO_3 = Fe_6O_7 + CO + 5\,CO_2;$$

es ist jedoch wahrscheinlich, dafs für den Verlauf der Zersetzung auch die herrschende Temperatur von Einflufs ist. Findet aber die äufsere Luft Zutritt, so kann ausschliefslich Kohlendioxyd neben Eisenoxyd entstehen.

$$2\,FeCO_3 + O = Fe_2O_3 + 2\,CO_2.$$

Das erfolgende Eisenoxyd ist leichter reduzierbar als das Karbonat, und die Zerlegung des letzteren erheischt eine höhere Temperatur als die Zerlegung der Hydroxyde[2]). Daher verhüttet man diese Erze meistens im gerösteten Zustande. Je vollständiger ihr Eisengehalt hierbei in Eisenoxyd Fe_2O_3 umgewandelt wird, desto besser zugänglich sind sie den reduzierenden Einflüssen des Schmelzofens.

Bei der Röstung von Kalksteinen und Dolomiten wird Kohlensäure ausgetrieben, während die Oxyde hinterbleiben:

$$Ca(Mg)CO_3 = Ca(Mg)O + CO_2.$$

Bleiben diese Oxyde, insbesondere das Calciumoxyd, aber längere Zeit an der Luft lagern, so nehmen sie zunächst Feuchtigkeit auf, es entstehen Hydroxyde, welche unter dem Einflusse des Kohlensäuregehalts der Luft sich allmählich wieder in Karbonate umwandeln. Der Zweck des Röstens geht demnach verloren, wenn die gerösteten Körper nicht baldige Verwendung finden. Die Zerlegung des Calciumkarbonats erfolgt erst in weit höherer Temperatur als die des Eisenkarbonats (bei etwa 900° C.), und der Wärmeverbrauch ist erheblicher[3]); man röstet daher den als Zuschlag dienenden Kalkstein in solchen Fällen, wo dieser Wärmeverbrauch nachteilig für den Verlauf des durchzuführenden Verfahrens sein würde (z. B. bei dem in der dritten Abteilung besprochenen Thomasverfahren), während man davon abzusehen pflegt, wenn der erreichbare Nutzen zu unbedeutend ist, um aufser den Kosten für das Rösten selbst auch diejenigen decken zu können, welche die Aufbewahrung des gerösteten Steins in trocknen Räumen erheischen würde.

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 772.

[2]) Åkerman gibt die zur Zersetzung der Eisenkarbonate erforderliche Temperatur zu 300—400° C. an (Das Rösten der Eisenerze, Seite 2).

[3]) Nach Jordan (Revue universelle des mines, Bd. 31, Reihe 3, Jahr 1895, Seite 6) sind zur Zerlegung von 1 kg $FeCO_3$ 130 W.-E., von 1 kg $CaCO_3$ 447 W.-E. erforderlich; nach Wedding (Eisenhüttenkunde; 2. Aufl., Bd. 1, Seite 912 und 915) gebraucht 1 kg $FeCO_3$ 259 W.-E. (mithin doppelt so viel als nach Jordans Angabe), 1 kg $CaCO_3$ 425 W.-E. Jordans Angaben entsprechen besser dem beim Rösten beider Körper sich ergebenden wirklichen Brennstoffverbrauche und sind daher wahrscheinlicher.

Auch die Entfernung schädlicher Fremdkörper durch chemische Beeinflussung kann der Zweck des Röstens sein. Solche Fremdkörper sind vornehmlich Schwefel und Arsen.

Unter den in Eisenerzen vorkommenden schwefelhaltigen Mineralien tritt vorzugsweise häufig der Schwefelkies (FeS_2) auf, auch nicht selten der chemisch ebenso wie jener zusammengesetzte Strahlkies oder Markasit; ferner finden sich Magnetkies (Fe_8S_9), Kupferkies ($CuFeS_2$), Zinkblende (ZnS), Bleiglanz (PbS) und als ein zugleich Arsen führendes Mineral Arsenkies ($FeSAs$). Besonders reich an diesen schwefelhaltigen Mineralien sind einige Magneteisenerze und Spateisensteine, doch enthalten auch sämtliche andere Erzgattungen nicht selten gröfsere Mengen davon, als dem Eisenhüttenmanne lieb ist. Das Verhalten des Schwefels beim Rösten aber ist verschieden, je nachdem er in dieser oder jener Verbindung auftritt.

Schwefelkies und Strahlkies werden schon in dunkler Rotglut zersetzt, wobei annähernd die Hälfte Schwefel verflüchtigt wird[1]); findet dabei die Luft Zutritt, so entsteht lösliches Eisensulfat, welches später durch Auslaugen mit Wasser entfernt werden kann. Steigert man jedoch die Temperatur, so wird auch das Eisensulfat zersetzt, Schwefelsäure und schwefelige Säure entweichen, und Eisenoxyd bleibt zurück. Auch der Magnetkies läfst sich durch den gleichen Vorgang seines Schwefelgehalts berauben. Durch eine Röstung mit ausreichendem Luftzutritt in hoher Temperatur würde man demnach befähigt sein, Eisenerze, deren Schwefelgehalt als Bestandteil jener Verbindungen zugegen ist, vollständig zu entschwefeln. Im Betriebe wird jedoch die Erreichung des Ziels durch den Umstand erschwert, dafs die Luft immerhin nur beschränkten Zutritt zu den Schwefelverbindungen erhält, welche im Innern dichter und beim Rösten nicht etwa zerfallender Erzstücke eingeschlossen sind. Besonders zeigen Magneteisenerze ein solches der Entschwefelung ungünstiges Verhalten. Während Spateisensteine und Sphärosiderite Risse beim Rösten bekommen, auch wohl in kleinere Stücke zerbröckeln, sofern die Temperatur nicht bis zum Sintern stieg, bleiben die Magneteisenerze dicht und unzugänglich. Die Erfahrung hat nun aber gelehrt, dafs auch in solchen Fällen eine, wenn nicht ganz vollständige, so doch weitgehende Entschwefelung möglich ist, wenn die Erze bis zur Weifsglut, in welcher sie völlig sintern, unter reichlichem Luftzutritte ausreichend lange erhitzt werden. Schwefeleisen saigert hierbei aus, gelangt an die Oberfläche der Erzstücke und wird durch die Luft zersetzt[2]).

Kupferkies wird durch Röstung bei Luftzutritt in Sulfate umgewandelt, welche in Wasser löslich sind, aber in hoher Temperatur

---

[1]) In höherer Temperatur ist die Entschwefelung noch bedeutender. Nach dem Erhitzen von Schwefelkies bei 1500° C. unter Luftabschlufs erhielten Chatelier und Ziegler einen Rückstand mit nur 21,7 v. H. Schwefel, etwas weniger, als der Formel Fe_2S entsprechen würde (Bulletin de la Société d'encouragement, September 1902).

[2]) Jernkontorets Annaler 1829, Seite 452; R. Åkerman, Om jernmalmers rostning, Seite 28.

unter Hinterlassung der Oxyde und Austreibung der Schwefelsäure zersetzt werden.

Zinkblende bildet beim Rösten unter Luftzutritt Zinkoxyd neben Zinksulfat; letzteres aber ist durch Erhitzung nur in sehr hoher Temperatur zerlegbar. Seine Leichtlöslichkeit in Wasser gibt trotzdem ein Mittel an die Hand, es nach vollbrachter Röstung aus den Erzen zu entfernen.

Bleiglanz entläfst bei Luftzutritt schon in niedriger Temperatur einen Teil seines Schwefels als schwefelige Säure; ein anderer Teil bildet mit dem entstehenden Bleioxyd schwefelsaures Salz, welches, wie das Zinksulfat, einer sehr hohen Temperatur zur Zerlegung bedarf, dagegen nicht, wie dieses, in Wasser löslich ist.

Arsenkies entläfst schon in dunkler Rotglut ohne Luftzutritt einen Teil seines Schwefel- und Arsengehalts als Schwefelarsen; in höherer Temperatur und unter Luftzutritt entsteht zunächst schwefelsaures und arsensaures Eisen, welches ersteres wie bei der Schwefelkiesröstung zerlegt wird, während das letztere unzersetzbar ist. Ein Teil des Arsens bleibt also bei dem Eisen zurück und begleitet dieses durch alle Stufen der Verarbeitung; ein hoher Kalkgehalt der Erze befördert das Zurückbleiben des Arsens als Calciumarsenat[1]). Das beim Rösten verflüchtigte Arsen, dessen Anwesenheit beim Rösten arsenhaltiger Erze sich gewöhnlich durch den bekannten knoblauchartigen Geruch verrät, wird bei Luftzutritt ganz oder teilweise zu Arsenigsäureanhydrid verbrannt.

Aus dem geschilderten Verhalten der verschiedenen in den Erzen auftretenden Schwefelverbindungen ergibt sich, dafs eine weitgehende Entschwefelung, in welcher Verbindung der Schwefel auch auftreten möge, nur bei Luftzutritt erreichbar ist; dafs eine bis zum Sintern der Erze gesteigerte Temperatur zwar beim Rösten dichter Magneteisenerze von Nutzen sein kann, bei weniger dichten Erzen dagegen eher schädlich als vorteilhaft für die Entschwefelung ist, indem durch das Sintern der Luftzutritt in das Innere der Erzstücke erschwert wird; und dafs in vielen Fällen die Wirkung des Röstens durch eine nachfolgende Behandlung des Erzes mit Wasser zum Ausziehen der gebildeten löslichen Sulfate unterstützt werden kann.

Die in früheren Jahren öfter vorgeschlagene und versuchsweise durchgeführte Anwendung von Wasserdampf beim Rösten zur vollständigeren Zerlegung der anwesenden Schwefelmetalle hat einen befriedigenden Erfolg nicht gehabt. Wenn auch die chemische Einwirkung des Wasserdampfs nicht zu leugnen ist, fällt doch die Entschwefelung nicht vollständiger aus, als auch durch stark oxydierende Röstung ohne Wasserdampf zu erreichen ist; die Kosten des Verfahrens aber sind höher.

Schwefel als Bestandteil eingesprengter Sulfate (Gips, Anhydrit, Schwerspat) wird beim Rösten nicht ausgetrieben, da die zur Zerlegung jener Verbindungen erforderliche Temperatur höher ist, als man beim Rösten anzuwenden pflegt. Der Umstand ist

---

[1]) Versuche hierüber: The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, Seite 171; daraus in „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 537.

jedoch unerheblich, da jene Mineralien ihren Schwefelgehalt bei der Verhüttung der Erze nicht an das Eisen abgeben, sondern in der Regel zu Sulfiten reduziert und als solche verschlackt werden.

Aus den gegebenen Mitteilungen über den Zweck des Röstens folgt, dafs nicht alle Eisenerze geröstet zu werden brauchen. Nicht allein die Beschaffenheit des Erzes selbst, sondern auch die Art des Verhüttungsverfahrens ist hierbei mafsgebend.

In den meisten Fällen werden die Erze im Hochofen auf Roheisen verarbeitet. Wird hierbei eine basische, insbesondere kalkerdereiche Schlacke gebildet, was bei dem Betriebe mit Koks oder mineralischen Brennstoffen in Rücksicht auf deren Schwefelgehalt ohnehin notwendig ist, so besitzt diese die Fähigkeit, auch den Schwefel der Erze aufzunehmen; für das erfolgende Roheisen also wird er unschädlich, sofern nicht die Erze einen ungewöhnlich grofsen Schwefelgehalt besitzen. Entsteht aber, wie in den meisten mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen, eine kieselsäurereichere, kalkerdeärmere Schlacke (Bi- bis Trisilikat), so geht ein grofser Teil des anwesenden Schwefels in das Eisen über und benachteiligt dessen Eigenschaften. In diesem Falle ist demnach eine Röstung schwefelreicher Erze nicht allein zweckmäfsig, sondern sogar notwendig, wenn brauchbares Eisen daraus dargestellt werden soll. Hieraus erklärt es sich, dafs man beim Holzkohlenbetriebe überhaupt in umfänglicherem Mafse röstet als beim Koksbetriebe. Auch der Umstand, dafs der Unterschied der Reduzierbarkeit der Erze von minderer Bedeutung ist, wenn sie in grofsen Kokshochöfen, als wenn sie in kleineren Holzkohlenhochöfen verhüttet werden, kommt hierbei in Betracht.

Roteisenerze werden nur ausnahmsweise geröstet, wenn entweder ein grofser Schwefelgehalt ausgetrieben oder eine mürbere Beschaffenheit der Erze hervorgerufen werden soll.

Brauneisenerze werden, wie schon erwähnt wurde, auch nur in denselben Ausnahmefällen wie die Roteisenerze der Röstung unterzogen.

Spateisensteine und Sphärosiderite (sowie Kohleneisensteine und verwandte Erzsorten) werden der Regel nach geröstet, um in Eisenoxyd umgewandelt zu werden, teilweise auch zur Austreibung ihres mitunter nicht unbeträchtlichen Schwefelgehalts. Mitunter verhüttet man allerdings neben den gerösteten Erzen auch kleinere oder gröfsere Mengen ungerösteter derselben Gattung, teils, um die Röstkosten zu sparen, teils auch, um gewisse, bei Besprechung des Hochofenschmelzens erläuterte Einflüsse auf den Schmelzgang auszuüben.

Magneteisenerze werden, sofern sie für die Verhüttung mit Holzkohlen bestimmt sind, fast ohne Ausnahme zum Zwecke der Höheroxydation geröstet; beim Betriebe mit Koks, wo in Anbetracht der gröfseren Abmessungen der Hochöfen auch ihre Schwerreduzierbarkeit von geringerem Belang ist, sieht man häufig von der Röstung ab.

Zuschlagskalksteine und Dolomite werden für den

Hochofenbetrieb selten, für die basischen Verfahren der Flufseisendarstellung dagegen regelmäfsig geröstet (gebrannt).

Eisenreiche Schlacken (Frischschlacken, Schweifsofenschlacken), deren Eisengehalt teils als Oxyd, zum gröfseren Teile aber als Oxydul zugegen ist, und welche nicht selten neben den Erzen zur Eisendarstellung benutzt werden, sind bisweilen versuchsweise oxydierend geröstet. Nach Tholanders Versuchen tritt hierbei eine Zerlegung unter Ausscheidung von Kieselsäure ein, und die Reduzierbarkeit der Schlacken wird dadurch erhöht. Die Zeitdauer für die Höheroxydation der Silikate aber ist länger, das ganze Verfahren schwieriger durchführbar als beim Rösten der Erze; hierin liegt der Grund, weshalb man von der Röstung der Schlacken, obgleich deren erfolgreiche Durchführung die Verhüttung erleichtern würde, doch fast niemals Gebrauch macht.

c) Die Ausführung des Röstens.

Allgemeines.

Aus der Erklärung des Begriffs „Rösten" ergibt sich, dafs die Ausführung des Verfahrens durch Erhitzung des Erzes unter Anwendung irgendeines Brennstoffs geschieht. Dieser kann fest oder gasförmig sein. Beim Rösten von Kohleneisensteinen, welche selbst reich an brennbaren Bestandteilen sind, ist ein fremder Brennstoff nicht erforderlich; ja nicht selten reicht die bei ihrer Röstung entwickelte Wärme aus, auch noch andere Erze, welche zu diesem Zwecke mit jenen gemischt wurden, ohne besonderen Brennstoff zu rösten.

Da die Erze durch das Rösten mürber werden, ist es Regel, die Zerkleinerung erst nach der Röstung vorzunehmen. Mitunter zerfallen die Erze schon beim Rösten, so dafs die Zerkleinerung überhaupt entbehrlich wird. Grofsstückige Erze aber bieten der Luft weniger Oberfläche dar als kleinstückige. Wo also eine tunlichst weitgehende Entschwefelung der Hauptzweck des Röstens ist, verfährt man bisweilen umgekehrt; oder man röstet auch wohl doppelt, einmal vor der Zerkleinerung, um die Erze mürber zu machen, und dann ein zweites Mal nachher, um sie zu entschwefeln. Der Fall ist jedoch selten und kommt nur beim Holzkohlenbetriebe vor.

Da in allen den Fällen, wo eine Entschwefelung oder eine Höheroxydation der Erze beabsichtigt wird, der Zweck nur erreicht werden kann, wenn eine genügende Menge freien Sauerstoffs während des Röstens Zutritt findet, in den selteneren Fällen aber, wo Eisenerze oder Zuschläge aus anderen Gründen geröstet werden, jener Zutritt der Luft wenigstens nicht nachteilig auf den Erfolg einwirkt, ist es Regel, die Röstung der Eisenerze und Zuschläge in oxydierender Atmosphäre vorzunehmen.

Die anzuwendende Temperatur beim Rösten mufs von der Beschaffenheit der Erze abhängen.

Je leichter die Erze mit den beigemengten Gangarten verschlacken, desto niedriger mufs die Rösttemperatur gehalten werden;

Erze, welche mit Quarz fein durchwachsen sind, ertragen deshalb durchschnittlich geringere Temperaturen als quarzfreie.

Eisenoxyd und Kalk schmelzen in hoher Temperatur zu einer weniger leicht reduzierbaren Verbindung als das reine Eisenoxyd zusammen[1]). Es folgt hieraus, dafs auch für kalkige Roteisenerze, sofern diese ausnahmsweise dem Rösten unterworfen werden, eine allzu hohe Temperatur nachteilig sein würde.

Jene Höheroxydation des Eisengehalts der Karbonate und Magnetite, welche in zahlreichen Fällen der Hauptzweck der Röstung ist, wird am vollkommensten in Rotglut erreicht. Magneteisenerze erfordern, um in Eisenoxyd umgewandelt zu werden, einer längeren Einwirkung oxydierender Gase als die Spateisensteine und Sphärosiderite. Eine vollständige Umwandlung in Oxyd wird bei beiden Erzgattungen selten erreicht, da immerhin die inneren Teile der Erzstücke der Einwirkung der oxydierenden Gase nur in beschränktem Mafse ausgesetzt sind; je mehr Oberfläche die Erzstücke darbieten, je anhaltender die Erhitzung ist, und je reichlicher die Luft Zutritt fand, desto vollständiger fällt die Oxydation aus. Nicht günstig für die Entstehung des Eisenoxyds ist dagegen eine allzu hohe Temperatur. Fe_2O_3 ist eine in Weifsglut wenig beständige Verbindung und gibt Sauerstoff ab, ohne dafs reduzierende Einflüsse dabei tätig zu sein brauchen[2]). Ist dagegen der Hauptzweck des Röstens, Magneteisenerze tunlichst vollständig zu entschwefeln, so ist dieses Ziel, wie oben erläutert wurde, nur durch stark oxydierende Röstung in Weifsglut erreichbar.

Das Rösten in Haufen und Stadeln.

Wie bei der Verkohlung und Verkokung der Brennstoffe die Anwendung von Haufen (Meilern) das älteste und einfachste Verfahren bildet, aus welchem sich erst später die Anwendung von Öfen zur besseren Ausnutzung der erzeugten Wärme und zur sicheren Regelung des Verfahrens entwickelte, tritt uns auch als das einfachste und älteste Verfahren der Eisenerzröstung die Anwendung von Haufen entgegen, in welchen das Erz mit dem Brennstoffe geschichtet ist und durch dessen allmähliche Verbrennung geröstet wird.

Als Brennstoff für die Haufenröstung benutzt man, sofern nicht selbströstende Kohleneisensteine geröstet werden, Holzkohlen- oder Steinkohlenklein.

Den Haufen gibt man die Form ganz flacher abgestumpfter Pyramiden mit rechteckiger Grundfläche. Ihre Breite mufs, damit die äufsere Luft bis in das Innere vordringen kann, von der Gröfse und Form der einzelnen Erzstücke abhängen und beträgt bei Erzen, welche mit fremdem Brennstoffe geröstet werden, 4—6 m, während man bei der Röstung von Kohleneisensteinen Haufen bis

[1]) Vergl. die unter Literatur erwähnte Abhandlung von H. Tholander, Seite 118.

[2]) Diese schon früher bekannte Tatsache wurde durch mehrere Versuche von Tholander bestätigt. Eisenoxyd wurde durch einfaches Glühen in Oxyduloxyd umgewandelt, dessen Sauerstoffgehalt in einzelnen Fällen noch niedriger war als der durchschnittliche Sauerstoffgehalt der Magneteisenerze.

zu 10 m Breite anwendet. Die Länge der Haufen richtet sich nach der Menge des zu röstenden Erzes sowie der Gröfse des verfügbaren Platzes und erreicht bei Kohleneisensteinen mitunter 60 m. Die Höhe schwankt zwischen 1—5 m, geht aber nur in selteneren Fällen über 2,5 m hinaus, damit die Gase Durchgang finden.

Man benutzt einen ebenen trockenen Platz, den man erforderlichenfalls durch Aufstampfen von Lehm oder durch Pflasterung entsprechend vorbereitet. Bei der Röstung von kohlenfreien Erzen schüttet man auf diesem Platze zunächst eine Schicht leicht entzündlichen Brennstoffs, Holzscheite mit dazwischengeschütteten Spänen, Torf, Tannzapfen oder dergleichen, sonst auch wohl nur Holzkohlenlösche, in derjenigen Länge und Breite auf, welche die Grundfläche des Haufens erhalten soll. Diese unterste Schicht heifst das Röstbett. Nun kommt eine Schicht Erzstücke, etwa 40—50 cm hoch, dann wieder eine Schicht Brennstoffs (Holzkohlenkleins, Steinkohlenkleins), hierauf wieder Erz u. s. f. Die einzelnen Schichten werden mit Karren aufgefahren und mit Krücken geebnet; da die oberen Schichten von den aufsteigenden Gasen durchdrungen und hierbei ohnehin erhitzt werden, macht man die Kohlenschichten um so schwächer, die Erzschichten um so stärker, je weiter nach oben sie sich befinden, damit eine möglichst gleichmäfsige Erhitzung des ganzen Haufens erzielt werde.

Bei dem Auffahren der Schichten übereinander erhält der Haufen von selbst, wenn man nicht etwa durch künstliches Aufbauen besonders dazu geeigneter Erzstücke senkrechte Umfassungswände herstellt, die Form einer flachen abgestumpften Pyramide gemäfs dem Böschungswinkel der Bestandteile.

Der ganze Haufen wird schliefslich noch mit einer Decke aus Kohlenklein versehen und nun ringsherum am Fufse entzündet.

Bei der Röstung von Kohleneisensteinen fällt, wie erwähnt, die Einschichtung von Brennstoff fort. Sind sie schwer entzündlich, so legt man beim Setzen des Haufens mit Hilfe gröfserer Erzstücke Zündkanäle an der Sohle an, welche bis zur Mitte führen und mit leicht brennbarem Stoffe gefüllt werden.

Sehr lange Haufen steckt man auch wohl nur an einer Seite in Brand, so dafs das Feuer sich von hier aus nach dem anderen Ende hin fortpflanzt; die abgerösteten Erze werden entfernt, und man kann schon das Auffahren eines neuen Haufens beginnen, ehe der alte völlig durchgeröstet ist.

Die Brennzeit beträgt je nach der Gröfse der Haufen zwei Wochen bis mehrere Monate. Verschieden ist auch der Brennstoffverbrauch bei den Erzen, welche nicht selbst ihren Brennstoff mitführen. Die Art des Brennstoffs, die erforderliche Rösttemperatur, die Gröfse der Haufen sind hierbei mafsgebend. Bei Anwendung von Steinkohlenklein kann man als durchschnittlichen Verbrauch zum Rösten von 1 t Erz 100 kg Kohlen rechnen; die Löhne betragen in den meisten Fällen 40—50 Pfennige für 1 t Erz.

Da der Rösthaufen an allen Seiten und an der Oberfläche freiliegt und einem steten Luftwechsel ausgesetzt ist, kann die Ausnutzung des Brennstoffs beim Rösten in Haufen nicht günstig sein.

Es kommt hinzu, dafs der Verlauf der Verbrennung durch Witterungseinflüsse, insbesondere durch Stärke und Richtung des herrschenden Windes, beeinflufst wird, und dafs es, ganz abgesehen von diesen zufälligen Einwirkungen, doch in Rücksicht auf die schon oben angedeutete Eigentümlichkeit der Erhitzung, welcher die oberen Schichten stärker als die unteren ausgesetzt sind, auch bei sorgfältigster Aufstellung des Haufens kaum möglich ist, eine ganz gleichmäfsige Röstung der Erze zu erreichen. Stets werden sich einzelne zu schwach und andere zu stark geröstete Erze in einem und demselben Haufen befinden.

Von Jahrzehnt zu Jahrzehnt hat deshalb die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch sehr gebräuchliche Haufenröstung abgenommen, seitdem man mehr als in alter Zeit durch äufsere Verhältnisse gezwungen war, bei jedem Verfahren der Eisenerzeugung auf Brennstoffersparung und möglichste Vervollkommnung des Arbeitsverfahrens Rücksicht zu nehmen. Am häufigsten kommt die Haufenröstung noch bei Kohleneisensteinen in Anwendung, weil hier jene Rücksicht auf Brennstoffersparung weniger in Betracht fällt, im übrigen aber das Verfahren einfach und mit geringen Kosten durchzuführen ist.

Mitunter hat man, um die Nachteile der Haufenröstung zu verringern, den Rösthaufen durch eine niedrige Umfassungsmauer eingeschlossen, in welcher zahlreiche, für den Eintritt der Luft bestimmte Öffnungen vorhanden sind. Man nennt die Einrichtung einen Röststadel. Durch eingelegte Steine lassen sich jene Öffnungen in der Mauer beliebig schliefsen, so dafs eine Regelung des Luftzugs gemäfs der herrschenden Windrichtung möglich wird. Die erreichten Vorteile sind jedoch nicht erheblich, und die Anlage und Unterhaltung des Röststadels macht Ausgaben erforderlich, welche bei der Haufenröstung wegfallen. Daher ist die Stadelröstung noch seltener als die Haufenröstung in Anwendung.

Das Rösten in Öfen.

Allgemeine Einrichtung der Röstöfen.

Man benutzt fast ausnahmslos Schachtöfen[1]). Von dem Röststadel unterscheidet sich der Röstofen teils durch seine gröfsere Höhe und geringere Weite, vornehmlich aber dadurch, dafs in dem Ofen, welcher in dem unteren Teile mit Ausziehöffnungen für die abgerösteten Erze versehen ist, eine allmähliche Bewegung der in die Gicht des Ofens eingeschütteten Erze nach unten stattfindet und auf diese Weise ein ununterbrochener Betrieb des Ofens möglich ist; die Verbrennungsgase aber, welche in dem unteren Teile

[1]) Zu Eisenerz in Steiermark hat man Flammöfen mit Gasfeuerung zum Rösten wasserhaltiger, dicht liegender Erze eingerichtet. Die Öfen haben einen um etwa 40° geneigten Herd, auf welchem die oben eingeschütteten Erze abwärts gleiten, dem unten eintretenden Gasstrome entgegen (Mosers Röstofen). Näheres: Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Bd. 16, Seite 384; Berg- und hüttenmännische Zeitung 1867, Seite 492; 1872, Seite 27. Von Anwendung der Ringöfen zum Rösten, welche ebenfalls den Flammöfen angehören, wird unten die Rede sein.

des Ofens, wo die Luft Zutritt hat, gebildet werden, steigen empor und begegnen den niederrückenden Erzen. Diese entgegengesetzte, allen eigentlichen Schachtöfen eigentümliche Bewegungsrichtung der wärmeaufnehmenden und wärmeabgebenden Körper ist günstig für die Wärmeausnutzung (Seite 63) und Gleichmäfsigkeit der Röstung, da sämtliche in die Gicht eingeschütteten Erze auch denselben Weg zurücklegen, also der Erhitzung in dem gleichen Mafse ausgesetzt sind.

Diese Vorteile — ununterbrochener Betrieb, geringer Brennstoffverbrauch und gleichmäfsige Beschaffenheit der gerösteten Erze — erheben die Ofenröstung zu dem vollkommensten aller Röstverfahren, so dafs in der Jetztzeit die Ofenröstung die Regel bildet, während Haufen- und Stadelröstung zu den Ausnahmen zählen.

Verwendet man feste Brennstoffe zum Rösten, so werden sie in abwechselnden Schichten mit den Erzen in die Gicht eingeschüttet und sinken, wie diese, abwärts, um allmählich durch den aufsteigenden Luftstrom verbrannt zu werden; verwendet man Gas (Gichtgase des Hochofens, seltener Luftgas), so wird es durch Öffnungen im unteren Teile des Ofens eingeleitet. Die Verbrennungsluft läfst man in beiden Fällen durch die zum Ziehen der Erze bestimmten Öffnungen zutreten; sie mufs hierbei zwischen den noch warmen Erzstücken hindurch ihren Weg nehmen, kühlt diese ab und führt die aufgenommene Wärme in den Ofen zurück. Nicht selten jedoch ordnet man aufser diesen Öffnungen noch besondere Luftzuführungsöffnungen an, insbesondere dann, wenn eine stark oxydierende Röstung beabsichtigt ist, oder wenn Versetzungen durch sinternde Erze zu befürchten sind, zu deren Beseitigung man Stangen durch die Öffnungen einführen kann. Man nennt Öffnungen, welche vornehmlich für den letzteren Zweck bestimmt sind, S t ö r ö f f n u n g e n oder S t ö r r ä u m e. Der Luftzug wird fast immer durch den Ofen selbst, welcher hierbei als Esse wirkt, erzeugt; nur in wenigen Ausnahmefällen — bei dicht liegenden Erzen in hohen Öfen — hat man den kostspieligeren Gebläsewind zur Anwendung gebracht.

Gasfeuerung gewährt vor der Feuerung mit festen Brennstoffen aufser den früher erwähnten allgemeinen Annehmlichkeiten in diesem Falle den Vorteil, dafs die Erze nicht durch Asche der Brennstoffe verunreinigt werden, und bei der Aufgabe, eine tunlichst vollständige Entschwefelung dichter Magneteisenerze herbeizuführen, gibt sie leichter die Möglichkeit, die hierfür erforderliche hohe Temperatur bei stark oxydierender Gasatmosphäre herbeizuführen. Es kommt hierbei in Betracht, dafs durch die Berührung der Erze mit festen Brennstoffen immerhin die Oxydationswirkung des Ofens geschwächt werden mufs. Wenn trotzdem die Gasfeuerung bei Röstöfen nicht so häufig als die Feuerung mit festem Brennstoffe angetroffen wird, so ist der Grund dafür zum Teile in dem Umstande zu suchen, dafs als fester Brennstoff Kohlenklein benutzt werden kann, welches auf den meisten Eisenwerken fast kostenlos zu haben ist, während seine Umwandlung in brennbares Gas nicht ohne einen Kostenaufwand für Anlage und Wartung

der Gaserzeuger zu bewerkstelligen sein würde, dessen Betrag nicht im Einklange zu dem erreichbaren Nutzen stehen würde; ferner, dafs die Wartung des Röstofens selbst gröfsere Aufmerksamkeit bei Gasfeuerung als bei der Feuerung mit Kohlenklein erheischt. Aufserdem ist in Rücksicht zu ziehen, dafs die für die Eisenerzröstung benutzbaren Gase (Luftgas oder Hochofengichtgas) einer ziemlich hohen Temperatur im Verbrennungsraume bedürfen, um entzündet und vollständig verbrannt zu werden, welche nicht bei allen zu röstenden Erzen erwünscht ist. Vorzugsweise da gelangen Gasröstöfen zur Anwendung, wo Hochofengichtgase für ihre Heizung verfügbar sind. Wo aber die Gichtgase zur Heizung von Dampfkesseln und Winderhitzern vollständig ausgenutzt werden, man also bei ihrer Verwendung zum Rösten sie jener Verwendung entziehen müfste, ist das Rösten mit Kohlenklein dem Rösten mit Gas fast immer vorzuziehen.

Ein Mittelding zwischen den eigentlichen Gasröstöfen und den Öfen mit eingeschichtetem Kohlenklein bilden solche Öfen, bei denen auf Rosten, welche aufserhalb des Ofenschachts angebracht sind, ihre Verbrennungsgase aber in das Ofeninnere entlassen, flammende Brennstoffe (Holz, Steinkohlen) verbrannt werden, so dafs die Verbrennungsgase durch die aufgeschichteten Erze hindurch ihren Weg nehmen müssen. Solche Öfen haben mit den Gasröstöfen den Vorteil gemein, dafs die Verunreinigung der Erze durch Asche ausgeschlossen und stärkere Oxydationswirkung als bei der Berührung der Erze mit glühenden Kohlen möglich ist, aber sie erfordern die Anwendung kostspieligerer Brennstoffe als die gewöhnlichen Röstöfen für Kohlenklein. Man hat sie in einzelnen Fällen benutzt, wo die Erlangung jener Vorteile der Gasfeuerungen besonders wünschenswert war, Gase aber nicht zur Verwendung standen. Im ganzen haben sie sich wenig bewährt [1]).

Die Form und Gröfse der verschiedenen auf den Eisenwerken zur Verwendung gebrachten Röstöfen ist mannigfaltig. Da nur der kleinere Teil aller Eisenerze der Röstung unterworfen wird, findet man den Bau und den Betrieb der Röstöfen vorwiegend in einzelnen Bezirken ausgebildet, wo eben jene der Röstung bedürfenden Eisenerze (Karbonate und Magnetite) in gröfseren Mengen auftreten, während in anderen Gegenden, wo man ausschliefslich Rot- und Brauneisenerze verhüttet, auch auf grofsen Eisenwerken oft nicht ein einziger Röstofen angetroffen wird. Da anderenteils die Ansprüche, welche an den Erfolg der Röstung gestellt werden, gemäfs der Beschaffenheit der Erze und der Art der späteren Verhüttung verschieden sein können (wie oben erläutert wurde), lassen sich auch wiederum in der Einrichtung der Öfen eines ganzen Bezirks gewisse Eigentümlichkeiten erkennen, welche eben durch jene verschiedenen Ansprüche begründet sind.

So z. B. bilden in Cleveland und Südwales tonige Sphärosiderite den Hauptreichtum an Eisenerz. Sie bedürfen, um

---

[1]) Abbildungen solcher Öfen enthält Åkermans unter Literatur genanntes Werk über Rösten der Eisenerze.

leicht reduzierbar zu werden, einer oxydierenden Röstung; da sie mit Koks oder Steinkohlen verhüttet werden, ihr durchschnittlicher Schwefelgehalt überhaupt nicht sehr hoch ist, besitzt die Aufgabe der Entschwefelung geringere Wichtigkeit, aber der massenhafte Verbrauch an jenen Erzen stellt erhöhte Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der Öfen. Daher zeichnen sich die Öfen jener Bezirke meistens aus durch bedeutende Gröfse, welcher eine entsprechend grofse Leistung entspricht; als Brennstoffe dienen gröfstenteils die billig zu erlangenden Steinkohlen, da Gasröstung hier wenig Vorteil bringen würde.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wo schwefelreiche Magneteisenerze mit Holzkohlen verhüttet werden sollen, also nicht allein Höheroxydation dieser schwer reduzierbaren Erze, sondern auch möglichst weitgehende Entschwefelung unerläfslich ist. In dieser Beziehung sind die Verhältnisse Schwedens besonders lehrreich. Für die Lösung der Aufgabe ist nicht allein starke Oxydationswirkung, sondern auch hohe Temperatur bis zur Sinterung der Erze erforderlich; hier also ist Gasheizung der Röstöfen vorwiegend am Platze. Schweden, dessen Eisenhüttenleute von jeher ihre besondere Aufmerksamkeit der Ausbildung des Röstverfahrens zugewendet haben, ist die Heimat der Gasröstöfen. Von hier aus wurden sie nach anderen Gegenden verpflanzt, wo ähnliche Verhältnisse obwalteten (Nordamerika, Ungarn, Ural).

In den österreichischen Alpenländern sind es vorwiegend Spate, die, um mit Koks oder Holzkohlen verhüttet zu werden, zum Rösten gelangen. Ein Teil dieser Erze ist ziemlich schwefelarm, und es bedarf, zumal für die Verhüttung mit Koks, nur einer Zersetzung und Höheroxydation des Karbonats; andere sind stark mit Kiesen durchwachsen und bedürfen der Entschwefelung. Jene hohe Temperatur aber, welche für die dichten Magneteisenerze Schwedens zur Entschwefelung erforderlich ist, würde die Spateisensteine verschlacken und ist um so eher entbehrlich, als diese Erze bei ihrer Zersetzung ohnehin eine mürbe, porige Beschaffenheit annehmen, welche auch ihr Inneres der Einwirkung der Luft zugänglich macht. Einzelne Erze zerfallen sogar beim Rösten, behindern dadurch den Luftzug im Ofen und erfordern deshalb Öfen von geringer Höhe. Die Röstofenformen der alpinen Eisenwerke sind daher ziemlich mannigfaltig. Reichliche und auf eine gröfsere Fläche verteilte Luftzuführung, durch welche teils eine kräftige Oxydationswirkung hervorgerufen, teils eine übermäfsige örtliche Temperatursteigerung im Ofen verhindert wird, ist fast allen gemeinsam. Für dicht liegende Erze sind ganz niedrige Öfen in Verwendung, die zum Teile mit Gas geheizt werden.

In Deutschland bilden die zu röstenden Erze durchschnittlich einen geringeren Teil der Beschickung als in den genannten Ländern; man schmelzt in den allermeisten Fällen mit Koks, so dafs eine sorgfältige Entschwefelung kaum erforderlich ist, und die Röstung besitzt im allgemeinen nicht jene hohe Wichtigkeit als dort. Einzelne Werke allerdings, deren Hochöfen vorzugsweise Spate und Sphärosideride verhütten, sind auch mit umfänglichen

Anlagen für deren Röstung versehen. Die deutschen Röstöfen haben, diesen Verhältnissen entsprechend, mittlere Gröfse und zeichnen sich durch Einfachheit der Einrichtung aus. Bisweilen röstet man mehrere Erzgattungen (Spate, Magnetite) nacheinander in demselben Ofen.

Aufbau der Röstöfen.

In früherer Zeit gab man, geleitet durch die damaligen Ansichten über Wärmeverluste durch dünne Wände, den Röstöfen einen Kernschacht und umhüllte ihn mit einem Rauhgemäuer von oft ansehnlicher Stärke. Solche älteren Röstöfen, schwerfällig in ihrer Bauart, sind noch heute auf einzelnen Werken in Anwendung, da gewöhnlich kein Grund vorliegt, sie, wo sie einmal vorhanden sind, abzubrechen.

Wo man indessen neue Öfen anlegt, verfährt man den früher erörterten Grundsätzen für den Ofenbau gemäfs: man umschliefst den Ofenschacht mit einer Rüstung, die aus einem Blechmantel besteht, mitunter auch nur durch umgelegte Eisenringe gebildet ist, und läfst das Rauhgemäuer fehlen. Der ganze Ofen wird dadurch billiger und beansprucht weniger Platz, ohne deshalb an Haltbarkeit einzubüfsen. Die unten gegebenen Beispiele neuerer Eisenerzröstöfen sind geeignet, diese Bauart näher zu erläutern.

Gichtbeförderung.

Eine Vorrichtung ist erforderlich, um die Gicht des Ofens zugänglich zu machen. Es ist hierbei zu berücksichtigen, dafs die Wagen, welche Erze und Brennstoffe zuführen, bis an die Gichtöffnung geschoben werden müssen, um hier entleert zu werden.

Ist das Gelände, auf dem das Eisenwerk liegt, abschüssig, so stellt man die Röstöfen gern an einer tieferen Stelle auf und führt eine wagerechte oder schwach ansteigende Brücke von dem Erzlagerplatze nach der Ofengicht hinüber. Auf alpinen Werken ist man bisweilen in der Lage, die aus dem Stollen kommenden Erze auf ebener Bahn der Gicht der am Bergesabhang errichteten Röstöfen zuzuführen.

Ist eine solche Anordnung nicht möglich, die Höhe der Öfen aber nicht sehr beträchtlich, so legt man bisweilen eine geneigte Ebene, aus Bohlen gezimmert oder aus Eisen gefertigt, von der Sohle nach der Gicht hinauf.

Für gröfsere Anlagen dagegen sind mechanische Gichtaufzüge erforderlich. Mehrere Röstöfen werden in diesem Falle durch Brücken (Bühnen) untereinander verbunden, und ein Aufzug genügt für ihre Bedienung. Mitunter benutzt man Wasserdruckaufzüge, welche einen ganzen Eisenbahnwagen samt seinem Inhalte auf die Gicht und nach bewirkter Entleerung wieder hinunter befördern. Die senkrechte Kolbenstange des vertieft aufgestellten Druckzylinders trägt eine Plattform, von welcher die Last aufgenommen wird. Im übrigen lassen sich auch ähnliche Gichtaufzüge wie für Hochöfen benutzen, welche in der zweiten Abteilung dieses Buches beschrieben sind.

Ist jedoch der Stürzplatz für die rohen Erze weit entfernt von den Röstöfen, so erlangt man durch Anlage einer Drahtseilbahn die Möglichkeit, die Erze von dort aus unmittelbar nach der Gichtbühne der Röstöfen hinaufzubefördern, ohne hierbei durch Unebenheiten des Bodens, ja selbst durch dazwischenliegende Gebäude und dergleichen behindert zu werden. Mitunter werden die Erze unmittelbar von der Grube aus durch eine Drahtseilbahn den Röstöfen zugeführt, sofern man nicht vorzieht, das Rösten schon bei der Grube vorzunehmen. Für die Röstung bei der Grube kann der Umstand den Ausschlag geben, dafs manche Erze (Spate,

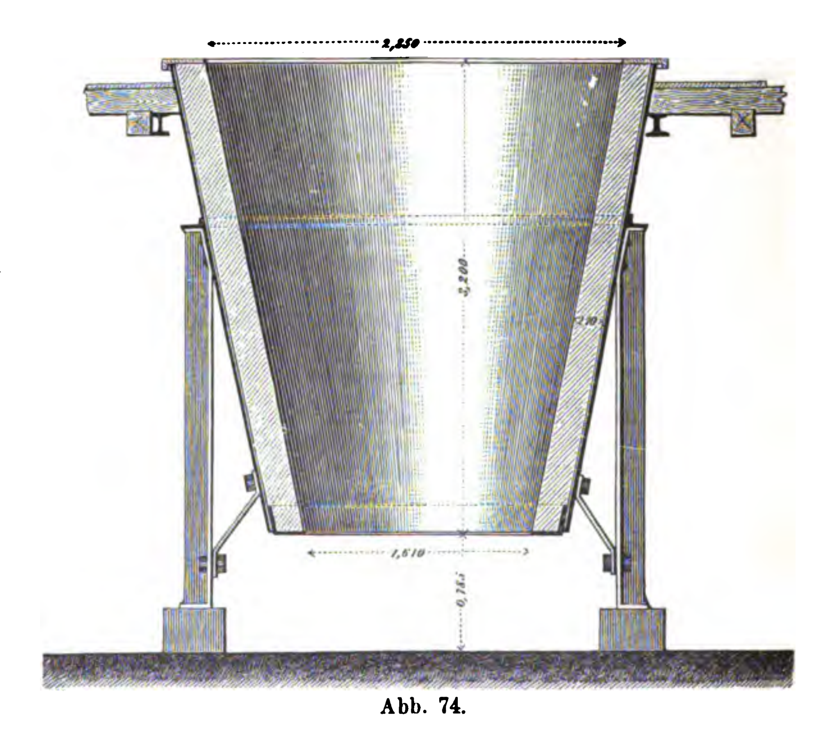


Abb. 74.

Sphärosiderite) beim Rösten an Gewicht verlieren, und dafs demnach die Beförderungskosten für das geröstete Erz geringer als für das ungeröstete ausfallen. Je gröfser die Entfernung zwischen Grube und Hütte ist, desto mehr fällt dieser Unterschied ins Gewicht.

Beispiele von Röstöfen.

Der in Abb. 74 dargestellte, unter dem Namen Siegerländer Röstofen bekannte Ofen dürfte die denkbar einfachste Form aller Röstöfen sein. Ein umgekehrter abgestumpfter Kegel, von drei Füfsen getragen, bildet den ganzen Ofen. Der Raum zwischen dem Erdboden und der Unterkante des Schachts ist während des Betriebs mit abgerösteten Erzen ausgefüllt, welche hier abkühlen; werden

sie entfernt, so rutscht aus dem Ofen eine entsprechende Menge Erz nach. Die Verengerung des Schachts nach unten befördert die gleichmäfsigere Verteilung der eintretenden Luft und der entstehenden Verbrennungsgase. In einem zylinderförmigen Schachte würde die an dem unteren Rande eintretende Luft sofort an den Wänden emporsteigen, ohne in die Mitte des Ofens zu gelangen; je näher der Ofenachse die Luft eintritt, desto gleichmäfsiger ist ihre Verteilung.

Man benutzt diese Art von Röstöfen mit gutem Erfolge zum Rösten aller solcher Erze, welche einer hohen Rösttemperatur nicht bedürfen: der Spateisensteine, Sphärosiderite, Kohleneisensteine. Die Abmessungen der Öfen sind meistens annähernd dieselben wie in der Abbildung[1]); ihre Leistungsfähigkeit ist ziemlich bedeutend. Nach Dürre röstet man zu Geisweid in einem derartigen Ofen von etwa 15 cbm Rauminhalt täglich 20 t Spateisensteine. Auf den Gruben zu Könitz in Thüringen werden in ebensolchen Öfen mit 3,3 m oberem Durchmesser, 1,5 m unterem Durchmesser, 3,2 m Höhe des Schachts und 0,7 m Abstand der Schachtöffnung vom Boden — also etwa 17 cbm Inhalt — täglich 32 t Spateisensteine mit einem Kohlenverbrauche von etwa 40 kg für 1 t Roherz geröstet, und es ergibt sich ein Röstverlust von 29 v. H. In Königin-Marienhütte röstete man in einem ebensolchen Ofen wie in Könitz täglich 60 t Zwickauer Kohleneisensteine ohne Aufwand fremden Brennstoffs mit einem Röstverluste von 30 v. H. Durchschnittlich ergibt sich in den erwähnten Fällen eine Tagesleistung auf je 1 cbm Rauminhalt von 1,5 t rohen Spats oder 3,5 t rohen Kohleneisensteins. Die Rösterlöhne betragen für 1 t Roherz etwa 25 Pfennige.

Will man den Röstöfen gröfsere Abmessungen geben, als der abgebildete Ofen besitzt, sei es, um die Leistung des Ofens zu erhöhen, sei es, um die Möglichkeit zu erlangen, eine höhere Temperatur zu erzielen, so würde die Beibehaltung der ganz gleichen Ofenform leicht zu Unzuträglichkeiten führen. Insbesondere würde die Gicht alsdann einen für die bequeme Bedienung allzu grofsen Durchmesser erhalten. Man bevorzugt deshalb in solchen Fällen die in Abb. 75 auf Seite 266 dargestellte Form, d. h. man gibt dem oberen Teile des Ofens Zylinderform und läfst die Verengung erst in dem tiefergelegenen Teile beginnen. Mit zunehmendem Ofendurchmesser wird jedoch das Vordringen der Luft in die Mitte des Ofens mehr und mehr erschwert, und es entsteht die Gefahr, dafs hier ein Kern ungerösteten oder unvollständig gerösteten Erzes zurückbleibt. Der Übelstand läfst sich abmindern, wenn man, wie bei dem abgebildeten Ofen, in der Mitte am Boden einen Abrutschkegel *a* anbringt, welcher die Erze zwingt, nach aufsenhin abzugleiten, und durch welchen hindurch, wenn er entsprechend eingerichtet ist, auch Luft in den mittleren Teil des Ofens geführt werden kann. Solche grofse

---

[1]) Die eingeschriebenen Mafse des abgebildeten Röstofens sind die bei einer Röstofenanlage zu Geisweid benutzten. Eine vollständige Abbildung der ganzen Anlage findet der Leser in Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Tafel 2.

Röstöfen sind auf verschiedenen Cleveländer Eisenwerken zum Rösten der dortigen Sphärosiderite in Benutzung. Zum Tragen des

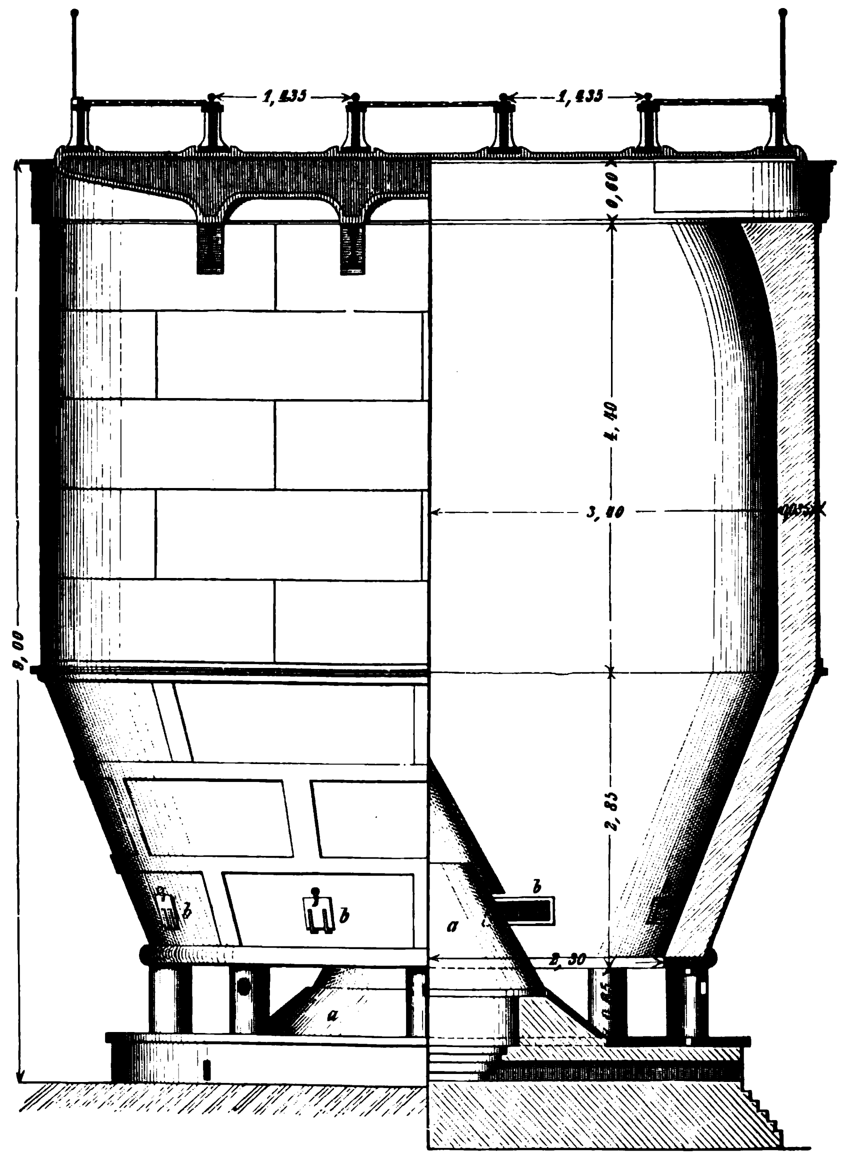


Abb. 75.

schweren Ofens dienen niedrige Gufseisensäulen (bei einigen derartigen Öfen gemauerte Steinpfeiler), auf welchen ein Gufseisenkranz ruht. Ein Kanal unter der Sohle (rechts sichtbar) ermöglicht der äufsern Luft in das Innere des erwähnten Kegels und von hier aus

in den Ofen zu gelangen. *bb* sind Störöffnungen, zur Beseitigung entstandener Versetzungen dienend.

Quer über die Gicht des Ofens hinüber sind zwei Schienengleise gelegt, so dafs die mit den Erzen oder mit Brennstoff beladenen Eisenbahnwagen ohne weiteres bis hierher gerollt und hier entleert werden können. Bühnen neben den Gleisen ermöglichen den Zugang für die Arbeiter, welche das Ausladen bewirken.

Wo mehrere solche Öfen vorhanden sind, werden sie in einer Reihe aufgestellt und durch Brücken mit Schienengleisen untereinander verbunden. Gestattet es die Örtlichkeit nicht, die Öfen so tief zu legen, dafs ihre Gicht ohne weiteres zugänglich ist, so werden die Wagen, wie oben erwähnt, mit Hilfe eines mechanischen Aufzugs emporgehoben.

Bei den zahlreichen nach dieser Form ausgeführten Öfen stimmen die Abmessungen nicht immer mit den in der Abbildung eingeschriebenen Mafsen überein. Die Höhe der Öfen schwankt zwischen 9—15 m, während der innere Durchmesser des weitesten Teiles 6,5—7,5 m beträgt. Die Öfen besitzen einen Rauminhalt von 230—450 cbm.

Als Brennstoff dient Steinkohlenklein, und man gebraucht für 1 t zu röstenden Erzes etwa 40 kg Kohle. Die von einem Ofen, wie in der Abbildung, täglich verarbeitete Erzmenge beträgt etwa 100 t, bei gröfseren Öfen steigert sie sich auf 160 t und bei den gröfsten vermutlich noch etwas mehr.

Auf 1 cbm Rauminhalt bezogen, beziffert sich das Gewicht des täglich verarbeiteten Roherzes auf 400—450 kg.

Bei den alpinen, zum Rösten von Spateisensteinen bestimmten Öfen ist man von jeher bemüht gewesen, einen reichlichen Luftzutritt in das Innere zu ermöglichen, um hierdurch eine tunlichst weitgehende Entschwefelung der Erze ohne Sinterung zu erzielen. Der Zweck läfst sich erreichen, wenn man den Ofen, wie die bisher besprochenen, in seinem unteren Teile verengt, zugleich aber die Umfassung dieses unteren Teils mit Durchbrechungen versieht, welche als Luftzutrittsöffnungen dienen. Einen Ofen dieser Art, auf dem Eisenwerke Donawitz zum Rösten der Spateisensteine des steirischen Erzberges benutzt, zeigen die Abbildungen 76 und 77 auf Seite 268. Er hat rechteckigen Grundrifs und ist an jeder der beiden Längsseiten mit zwei Ausziehöffnungen versehen, oberhalb welcher Treppenroste eingelegt sind, um der Luft freien Zutritt bis in das Innere des Ofens zu gewähren. Ein quer durch den Ofen hindurchgehender Mauersattel zwischen den benachbarten Ziehöffnungen (Abb. 76) führt die herunterkommenden Erze diesen zu, und auf dem dachförmig gestalteten Boden des Ofens (Abb. 77) gleiten sie weiter abwärts, um durch die unterhalb der Treppenroste angebrachten eisernen Schnauzen in darunter gefahrene Karren gezogen zu werden. Mehrere solcher Öfen sind nebeneinander angeordnet und durch Schienengleise auf der Gicht verbunden. Jeder Ofen von den aus den Abbildungen ersichtlichen Abmessungen liefert täglich 22—24 t gerösteten Erzes aus 30—35 t Roherzes. Der Brennstoffverbrauch beträgt etwa 50 kg Holzkohlenklein für 1 t Roherzes.

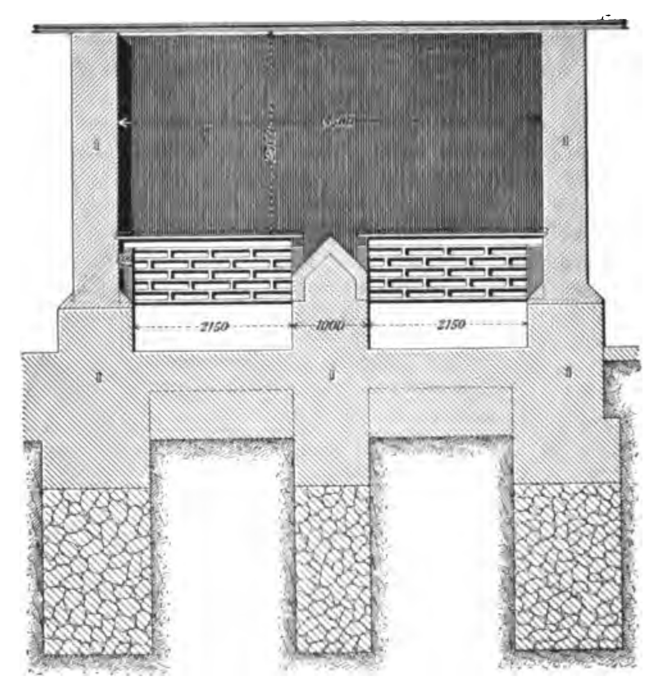


Abb. 76.

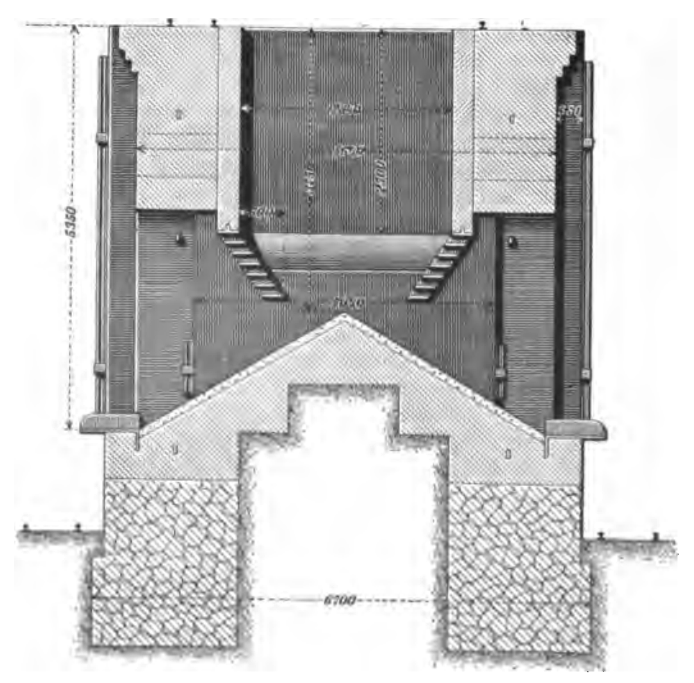
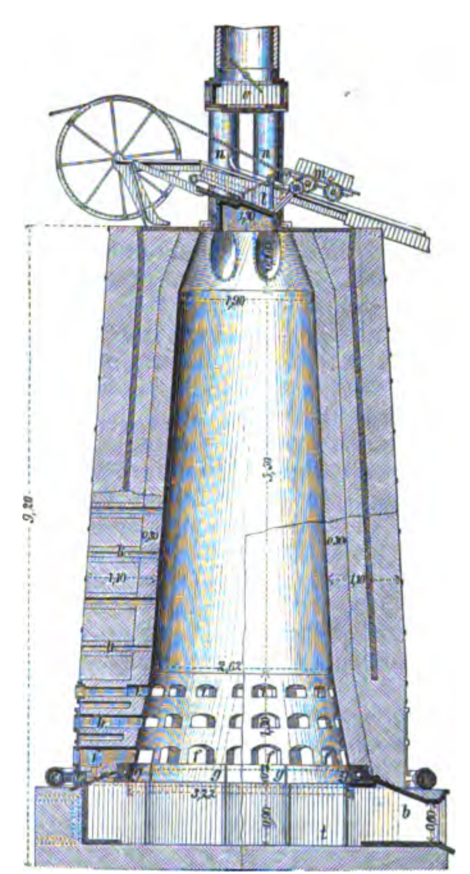
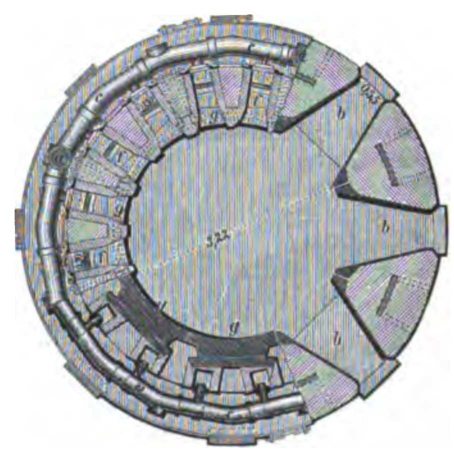


Abb. 77.

Unter allen Gasröstöfen nimmt der in Abb. 78 und 79 dargestellte, zum Rösten grobstückiger Magneteisenerze in Sintertemperatur bestimmte Röstofen des Schweden Westman seiner Gröfse wie seiner Leistung nach die hervorragendste Stellung ein. Seit der Erbauung des ersten dieser Öfen im Jahre 1851 auf dem Werke Söderfors bei Dannemora sind nicht allein in Schweden die schon damals gebräuchlichen Gasröstöfen — die sogenannten Tenninge-Öfen — mehr und mehr von ihm verdrängt worden, sondern er ist auch aufserhalb Schwedens, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen, öfters in Anwendung gekommen.


Abb. 78.

Die Heizung dieser Öfen wird in Schweden durch Hochofengase bewirkt; mit gleich gutem Erfolge würde Luftgas benutzt werden können, sofern dessen Wassergehalt nicht zu bedeutend ist. Wo aber nicht Gichtgase für das Rösten zur Verwendung stehen, fällt eine Hauptveranlassung zur Anwendung der Gasfeuerung in Röstöfen fort, und der andere Grund zur Einführung von Gasröstöfen, die erreichbare vollständigere Entschwefelung kiesiger und dichter Magneteisensteine, verliert, wie erwähnt, an Bedeutung, wenn man die Erze nicht mit Holzkohlen, sondern mit mineralischen Brennstoffen verarbeitet. Wenn unter solchen Verhältnissen die Anwendung des Westmanschen Ofens vorwiegend auf diejenigen Bezirke beschränkt blieb, wo


Abb. 79.

Holzkohlen als Brennstoff für die Verhüttung gerösteter Magneteisenerze zur Verwendung stehen, so verdient er dennoch als ein bedeutsames Glied unter den Einrichtungen der Eisenhütten eines für das gesamte Eisenhüttenwesen nicht unwichtigen Landes eine etwas ausführlichere Besprechung.

Der Schacht zeigt, abweichend von den Röstöfen für niedrigere Temperaturen, eine Erweiterung nach unten, um das Ansetzen sinternder Erze an die Wände zu erschweren, das gleichmäfsige Niederrücken zu erleichtern; am stärksten in dem Teile unmittelbar über den Gaseinströmungsöffnungen, wo der sogenannte Röstgürtel sich bildet, d. h. wo die stärkste Temperatur herrscht und das Erz deshalb einen teigartigen Zustand annimmt. Der Ofen besteht aus Kernschacht und Rauhgemäuer; ersterer wird von einem Gufseisenringe *gg* getragen, welcher zugleich die obere Begrenzung der Ausziehöffnungen *bb* . . bildet und zwischen ihnen auf dem Mauerwerke ruht.

Das Heizgas wird zunächst in das rings um den Ofen herum gelegte Rohr *c* geführt, gelangt aus diesem durch die Rohrstutzen *dd* in die Einströmungskanäle *ff* . . und von hier in den Ofen. Diese Kanäle, welche sich unmittelbar über dem Ringträger *g* befinden, sind nach aufsen verlängert und hier durch eine Kapsel oder Tür verschlossen, so dafs man imstande ist, von hier aus Werkzeuge zum Losbrechen der Erze in den Ofen zu führen. Die Anzahl der Gaseinströmungen ist doppelt so grofs als diejenige der Ziehöffnungen, und sie liegen so dicht bei einander, dafs das Erz überall zugänglich für jene Werkzeuge bleibt. So nahe über den Einströmungen *ff* . ., als es in Rücksicht auf die Haltbarkeit des Ofengemäuers irgend tunlich ist, befindet sich eine Reihe Störöffnungen *hh* . . und über diesen eine zweite Reihe *ii* . . . Sie alle liegen so dicht bei einander, dafs das sinternde Erz in ihrer Ebene gleichfalls zugänglich für die Werkzeuge der Arbeiter ist. Über diesen Störöffnungen sind nun aufserdem noch vier Reihen engerer Schauöffnungen *kk* . . angebracht, durch welche hindurch man die Temperatur beobachten kann. Auch diese sind, wie sämtliche Störöffnungen, durch Türen oder eingelegte Ziegeln verschliefsbar.

Die Verbrennungsluft tritt durch die Ziehöffnungen in den Ofen und hat zunächst, ehe sie auf das Gas trifft, die im unteren Teile des Ofens befindlichen glühenden Erze zu durchströmen. Zur besseren Regelung des Luftzutritts sind die Ziehöffnungen mit Türen versehen, in denen sich je fünf durch Drehschieber ganz oder teilweise verschliefsbare Luftlöcher befinden.

Die Anzahl der Ziehöffnungen richtet sich nach dem Durchmesser des Ofens; bei den gröfseren Öfen sind acht Ziehöffnungen vorhanden; bei den kleinsten Öfen von 1,9 m Durchmesser im unteren Teile ist deren Zahl auf fünf beschränkt.

Bei einzelnen W e s t m a n schen Öfen hat man Gebläseluft statt des natürlichen Luftzuges zur Anwendung gebracht, welche in das hohlgegossene Trägereisen *g* und durch feine Öffnungen aus diesem in den Ofen geführt wird. Es hat sich jedoch gezeigt, dafs besondere Vorteile hierdurch nicht erreicht werden.

Die Gicht des Ofens ist während des Betriebs durch einen schräg liegenden Deckel *l* geschlossen, welcher von dem mit Erz beladenen, durch eine mechanische Vorrichtung auf der schiefen Ebene emporgezogenen Wagen *m* selbsttätig zurückgeschoben wird, sobald dieser über der Gicht anlangt, worauf die ebenfalls selbsttätige Entleerung des Wagens erfolgt. Die Gichtgase aber treten durch vier seitlich angebrachte Rohre *nn* . . in den Sammelkasten *o* und werden von hier aus in die mit Klappe zur Regelung des Zuges versehene, etwa 10 m hohe Esse geführt.

Als Leistung des Ofens rechnet man für je eine Ziehöffnung in 24 Stunden 5 t, bei acht Ziehöffnungen mithin 40 t. Bei einem räumlichen Inhalte des Ofens von 31 cbm würde diese Erzmenge einer täglichen Leistung von etwa 1300 kg Erz auf 1 cbm Rauminhalt entsprechen. Man pflegt in achtstündiger Arbeitsschicht durchschnittlich sechsmal Erze zu ziehen. Das herauskommende Erz ist noch glühend.

Als Brennstoffverbrauch gibt Rinman 300 cbm Hochofengas für 1 t Erze an[1]). Um einen Vergleich mit dem Brennstoffverbrauche der bisher besprochenen Röstöfen zu erhalten, würde man annehmen können, dafs jene 300 cbm Gichtgase annähernd gleichwertig sind mit 200 cbm Luftgas aus Steinkohlen, zu dessen Darstellung ungefähr 60 kg Steinkohlen erforderlich sein würden. Der Brennstoffverbrauch in diesem Ofen ist also durchschnittlich etwas höher als bei den bisher besprochenen Öfen für feste Brennstoffe, welcher Umstand sich zur Genüge erklärt, wenn man erwägt, dafs die Erhitzung der Erze bedeutend stärker ist und sein soll als in jenen Öfen.

Will man Gasfeuerung zum Rösten solcher Erze verwenden, welche jene hohe, in den Westman-Öfen herrschende Temperatur nicht ertragen — Spateisensteine und andere —, so müssen anders eingerichtete Öfen gewählt werden. Ihre Höhe mufs geringer sein; besonders ist eine geringe Höhe dann erforderlich, wenn die Erze die Neigung besitzen, beim Rösten zu zerfallen und hierdurch Verstopfungen herbeizuführen. Solche kleine Gasröstöfen für Spat und dichtliegende Brauneisenerze sind auf Eisenwerken der österreichischen Alpen, wo man zum Betriebe der Gebläse Wasserkraft benutzt und demnach Gichtgase zum Rösten verfügbar hat, mehrfach in Anwendung und werden nach ihrem Erfinder Fillafersche Röstöfen genannt. Die Abb. 80 und 81 auf Seite 272 zeigen die Einrichtung solcher auf einem Eisenwerke Kärntens in Benutzung befindlichen Öfen. Der Schacht ist vierseitig-prismatisch, ungefähr 0,550 m breit, 1,250 m lang und im ganzen nur 2,750 m hoch. Die Einrichtung der Ausziehöffnungen ist ähnlich wie bei dem Röstofen Abb. 76 und 77; reichlicher Luftzutritt wird durch die Anordnung der Treppenroste an beiden Schmalseiten ermöglicht. Mehrere gleiche Öfen sind zu einer Reihe verbunden. Das Gas strömt durch das in Abb. 80 sichtbare Hauptrohr zu und gelangt aus diesem in wagerechte Kanäle an beiden Längsseiten der Öfen, um von hier durch je neun Schlitze

---

[1]) Berg- und hüttenm. Zeitung 1872, Seite 112.

an jeder Längsseite in den Ofen einzutreten, wo die Verbrennung durch die von unten aufsteigende, durch die abgerösteten Erze vorgewärmte Luft bewirkt wird. Die Art und Weise, wie das Einfüllen der Erze geschieht, ist in der Abbildung erkennbar. Der Raum oberhalb der Gicht, in welchem der in Abb. 80 sichtbare

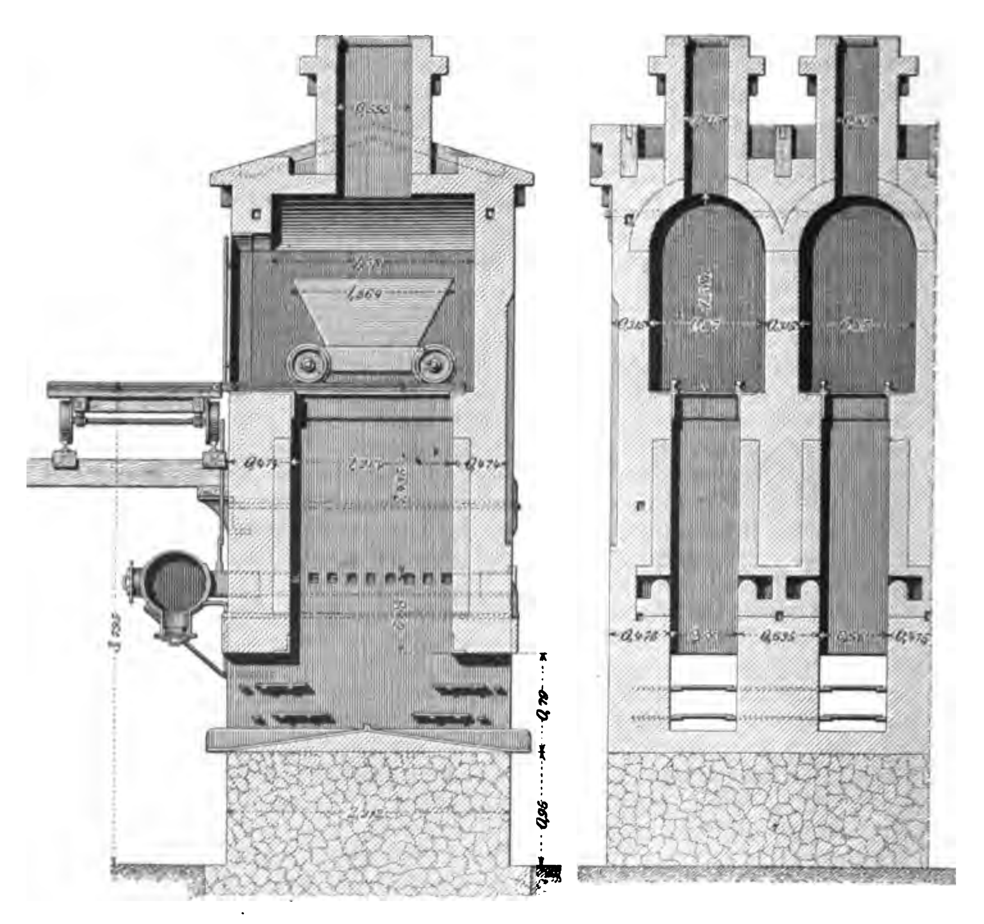


Abb. 80. Abb. 81.

Erzwagen sich befindet, ist durch eine Tür verschlossen, welche nur während des Beschickens geöffnet wird, und eine kleine Esse oberhalb dieses Raums dient zur Verstärkung des Luftzugs. Ein solcher Ofen röstet täglich 2—3 t Erz.

Zum Rösten des Kalksteins für das Thomas- und basische Martinverfahren, in einzelnen Fällen auch zum Rösten von Eisenerzen, wo solche regelmäfsig in grofsen Mengen geröstet werden müssen, bedient man sich auf einigen Eisenwerken der von Hoffmann und Licht in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts erfundenen, ursprünglich zum Brennen von Ziegeln

bestimmten, jedoch auch zum Brennen von Kalkstein bewährten Ringöfen. Ein solcher Ringofen besteht aus mehreren, gewöhnlich 10—24, unter einander verbundenen Kammern, deren Einrichtung in 1/200 der wirklichen Gröfse in den Abb. 82 und 83 auf Seite 274 im Grund- und Aufrisse (Schnitt nach der Linie *ABC*) dargestellt ist. Die einzelnen Kammern sind im Grundrisse mit 1—10 bezeichnet; sie lassen sich von einander durch senkrechte Schieber trennen, welche durch Schlitze in der Decke sich aufziehen lassen und in der Abbildung teilweise durch Linien in Punkten angedeutet sind. Jede Kammer besitzt eine nach aufsen mündende Türöffnung, welche während des Heizens vermauert wird, und steht durch einen Bodenkanal mit der in der Mitte befindlichen Rauchkammer (im Aufrisse mit *r* bezeichnet) in Verbindung, von welcher ein ebenfalls im Boden angebrachter Kanal nach der seitlich stehenden Esse führt. Im Grundrisse sind die einzelnen Kanäle durch Linien in Punkten bezeichnet; im Aufrisse ist links einer der Bodenkanäle zwischen der Heiz- und Rauchkammer, rechts der Essenkanal sichtbar. Die Mündung eines jeden der Bodenkanäle in der Rauchkammer ist mit einem Verschlufsdeckel versehen, welcher mit Hilfe einer Stange von der Decke des Ofens aus bewegt werden kann (im Aufrisse erkennbar). In der Decke jeder Kammer befinden sich ungefähr 15 zum Einstreuen des Brennstoffs bestimmte und durch einen Deckel verschliefsbare Öffnungen (im Aufrisse sind in jeder Kammer je drei dieser Öffnungen sichtbar). Als Brennstoff benutzt man Stein- oder Braunkohle.

Während des Betriebes, welcher ununterbrochen stattfindet, ist nur einer der Schieber eingesetzt, die übrigen sind offen. Wenn z. B. der Schieber zwischen den Kammern 1 und 10 eingesetzt ist, sind die Türen der Kammern 1 und 2 geöffnet, alle übrigen vermauert. In der Kammer 1 wird frischer Kalkstein eingesetzt; aus der Kammer 2 wird der fertig gebrannte Kalk ausgebracht; durch die Deckenöffnungen der Kammer 5 wird der Brennstoff eingestreut. Der Rauchkanal der Kammer 10 ist geöffnet, ebenso der Essenkanal (welcher stets offen bleibt), alle übrigen Rauchkanäle sind geschlossen. Die Verbrennungsluft tritt demnach durch die geöffneten Türen der Kammern 1 und 2 ein, streicht durch den in den Kammern 3 und 4 befindlichen, bereits gebrannten Kalk hindurch, diesen abkühlend und die aufgenommene Wärme mitnehmend, und trifft in der Kammer 5 auf den dort eingestreuten Brennstoff. Die heifsen Verbrennungsgase durchziehen die mit Kalkstein gefüllten Kammern 6, 7, 8, 9 und 10, um aus letzterer in die Rauchkammer und von hier nach der Esse zu entweichen. Nach bestimmter Zeit, gewöhnlich nach 24 Stunden, nachdem inzwischen die Füllung der Kammer 1 und die Entleerung der Kammer 2 beendet, die Türöffnung der Kammer 1 aber vermauert ist, wird der Schieber zwischen 1 und 10 herausgenommen, der Schieber zwischen 1 und 2 eingesetzt und die Kammer 1 mit der Rauchkammer in Verbindung gesetzt, der Rauchkanal der Kammer 10 dagegen geschlossen, so dafs die Gase nunmehr durch 1 abziehen müssen. Das Einstreuen des Brennstoffs erfolgt in 6; die Kammer 3 wird geöffnet und entleert, in 2 wird frischer Kalkstein eingesetzt. Später schliefst

man den Schieber 2 und 3, läfst die Gase aus 2 abziehen, setzt in 3 frischen Kalkstein ein, entleert 4 u. s. f. Die Einrichtung

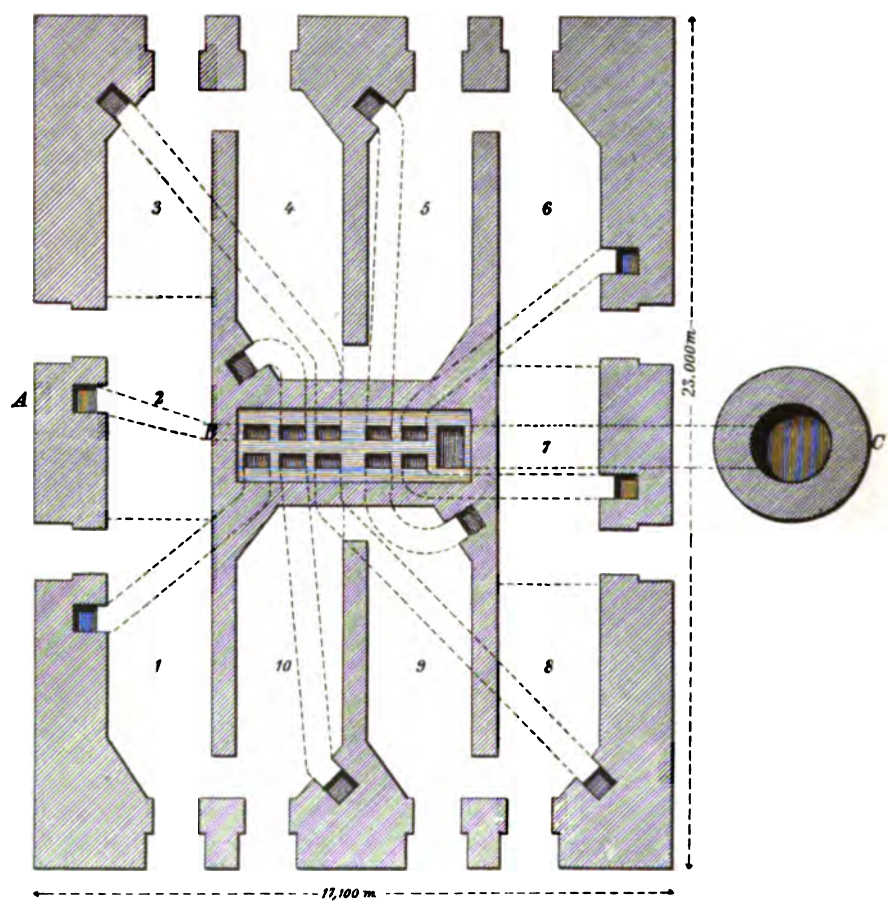


Abb. 82.

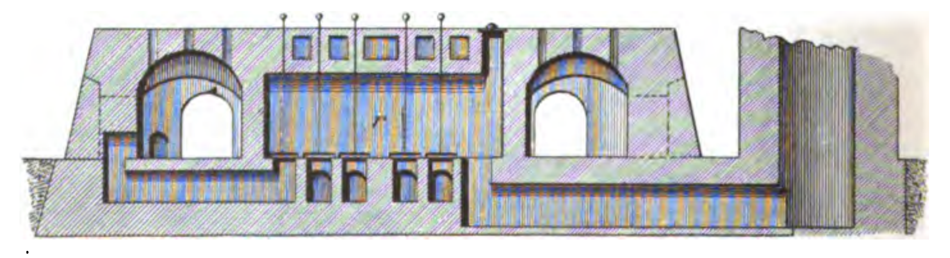


Abb. 83.

ermöglicht die Zurückführung eines reichlichen Teils der von den gerösteten Körpern aufgenommenen Wärme durch die zuströmende

Verbrennungsluft und eine günstige Ausnutzung der von den Gasen mitgeführten Wärme, indem man die Gase, dem Gegenstromgesetze gemäfs, mit immer kälteren Teilen in Berührung bringt. Ein Ofen in den Abmessungen der Abbildungen liefert in 24 Stunden 35—40 t gebrannten Kalk und gebraucht zur Erzeugung von 1 t gebrannten Kalk 160—200 kg Steinkohlen. Der Arbeitslohn für 1 t gebrannten Kalk beträgt etwa 2,50 Mk. Über die Betriebsergebnisse bei Rösten von Erzen ist bislang nichts Näheres bekannt geworden.

Den Vorteilen des Ringofens steht der Umstand gegenüber, dafs seine Anlagekosten sehr erheblich sind und er seiner Einrichtung gemäfs nur für ununterbrochenen Betrieb und eine Erzeugung im grofsen benutzbar ist. Auch die Löhne sind höher als bei Schachtöfen. Ein Kupolofen wie in Abb. 61 und 62 auf Seite 193 dargestellt ist, wird bisweilen auch zum Rösten des Kalksteins benutzt. Er ist billiger in der Anlage und bequemer in der Bedienung.

Betrieb und Betriebsergebnisse der Röstöfen.

Die Inbetriebsetzung eines kaltliegenden Ofens bietet keine Schwierigkeiten. Man bringt zu unterst eine Lage leicht entzündlichen Brennstoffs, setzt diesen in Brand, schüttet Kohlen nach, dann, wenn diese glühen, Erze u. s. f., bis der Ofen gefüllt ist. Je höher der Ofen ist, und je dichter die Erze liegen, desto allmählicher geht man mit dem Füllen zu Werke, damit das Feuer nicht erstickt werde. Auch bei Öfen mit Gasfeuerung bringt man zunächst in die Nähe der Einströmungsöffnungen Holzstücke und dergl., in die Mitte Erzstücke, darüber wieder Erz mit Kohle gemengt, bis der Ofen etwa zu einem Drittel oder der Hälfte gefüllt ist. Alsdann wird das Holz entzündet und der Ofen allmählich weiter gefüllt. Erst wenn im unteren Teile des Ofens bei dieser Art der Feuerung Rotglut entstanden ist, wird das Gas zugelassen, worauf nun der Betrieb seinen regelmäfsigen Verlauf nimmt. In gewissen Zeitabschnitten, gewöhnlich alle 6—12 Stunden, bei Gasröstöfen noch häufiger (1—3 Stunden), wird eine bestimmte Menge gerösteten Erzes herausgeholt — „gezogen" —, die darüber befindlichen Erze rücken zur Ausfüllung des entstandenen leeren Platzes abwärts, und man füllt in die Gicht frisches Erz nach. Verwendet man Kohlen als Brennstoff, so werden diese zu unterst und die Erze darauf geschüttet in Lagen, deren Stärke von der Gröfse der Öfen wie der Beschaffenheit der Erze abhängig ist.

Die Verbrennung schreitet bei Anwendung festen Brennstoffs von unten nach obenhin fort, „das Feuer steigt auf", und beim neuen Ziehen pflegt auch die oberste Kohlenschicht bereits ins Glühen gekommen zu sein, wenn der Ofen nicht sehr hoch ist. Bei Gasröstöfen bleibt die Verbrennung dagegen auf den gleichen Raum beschränkt, solange die Gas- und Luftzuführung sich nicht ändert.

In Öfen, welche leicht eine höhere Temperatur entwickeln, und bei Erzen, welche zum Sintern geneigt sind, kann es geschehen,

dafs durch das Zusammenbacken der Erze Versetzungen entstehen und förmliche Gewölbe sich bilden, welche das Nachrücken der darüber befindlichen Erze unmöglich machen. In diesem Falle ist es, wie bereits erwähnt wurde, erforderlich, diese Versetzungen mit Stangen loszustofsen, zu „stören“, um den Ofen im Betriebe zu erhalten, und man bringt zu diesem Zwecke in einiger Höhe über den Lufteinströmungsöffnungen die ebenfalls schon erwähnten Störräume an.

In der geschilderten Weise kann ein Röstofen ununterbrochen im Betriebe erhalten werden.

Dafs die Wartung eines Röstofens, in welchem zum Zwecke der vollständigen Entschwefelung Sintertemperatur herrschen mufs (beim Rösten schwedischer Magneteisenerze), gröfsere Schwierigkeiten verursacht und gröfsere Umsicht erheischt als die Wartung eines gewöhnlichen Röstofens, ist leicht begreiflich.

Über den Betrieb der Ringöfen wurde bei deren Beschreibung bereits das Notwendigste mitgeteilt.

Die Betriebsergebnisse der Röstöfen sind verschieden nach der Beschaffenheit der zu röstenden Erze oder Zuschläge und dem Zwecke, den man mit der Röstung verbindet. Über die Betriebsergebnisse der oben beschriebenen Röstöfen ist bereits im Anschlufs an die Beschreibungen einiges Nähere mitgeteilt.

Sehr verschieden ist die Leistung der Röstöfen, d. h. die Menge des von ihnen in bestimmter Zeit gelieferten Röstguts. Sie ist zwar zum grofsen Teile von seinem Rauminhalte abhängig; aber auch die Beschaffenheit der zu röstenden Erze, die Art der Feuerung und selbst der Bedarf an geröstetem Erz sprechen hierbei mit. Erfahrungsmäfsig läfst sich der Betrieb der meisten Röstöfen, insbesondere der mit festen Brennstoffen geheizten, ohne Nachteil innerhalb ziemlich weiter Grenzen beschleunigen oder verlangsamen, je nachdem es der Betrieb verlangt. So erklärt es sich, dafs, während bei zahlreichen Öfen die täglich verarbeitete Erzmenge für 1 cbm Rauminhalt des Ofens nicht über 400—450 kg hinausgeht, andere Öfen die vierfache Leistungsfähigkeit besitzen, sofern Bedarf an gröfseren Mengen gerösteten Erzes vorliegt.

Der Brennstoffverbrauch zum Rösten von 1 t rohen Erzes beträgt 30—50 kg Kleinkohle. Kohleneisensteine rösten sich selbst ohne fremden Brennstoffaufwand und können, wenn ihr Kohlenstoffgehalt hoch ist, sogar noch zum Rösten anderer Erze mitbenutzt werden. Beträchtlich höher als der Brennstoffverbrauch zum Erzrösten ist derjenige, welcher zum vollständigen Brennen von Kalkstein erfordert wird. Der Grund liegt in dem hohen zur Zersetzung des Calciumkarbonats erforderlichen Wärmeverbrauche[1]). Man gebraucht zum Rösten von 1 t rohen Kalksteins 100—130 kg Kohlen. Spateisensteine und Sphärosiderite verlieren beim Rösten im Mittel 25 v. H., Kalksteine 40 v. H. ihres ursprünglichen Gewichts; will man den Brennstoffverbrauch auf das Gewicht der gerösteten Stoffe beziehen, so würden die obigen Ziffern danach umzurechnen sein. Magneteisenerze ändern ihr Gewicht nicht er-

---

[1]) Vergl. die Fufsanmerkung 3 auf Seite 252.

heblich; Brauneisenerze werden um so viel leichter, als ihr Wassergehalt beträgt.

d) Kennzeichen gut gerösteter Erze.

Da die Temperatur nur in Ausnahmefällen bis zum Sintern der Erze steigen darf, ist das Vorkommen zusammengebackter verschlackter Stücke gewöhnlich ein Zeichen mangelhafter Röstung.

Die Farbe der gerösteten Erze mufs, da bei der Röstung Eisenoxyd gebildet werden soll, rot sein, und im allgemeinen ist ein Erz um so besser geröstet, je deutlicher, gleichmäfsiger dieses Rot hervortritt. Nur jene Erze, welche zum Zwecke einer völligen Entschwefelung bis zum Sintern erhitzt wurden, machen hiervon eine Ausnahme; sie zeigen gewöhnlich eine blaugraue Farbe, welche ebensowohl dem Eisenoxyduloxyd als dem geschmolzenen Eisenoxyd eigentümlich ist.

Zerschlägt man ein Stück gerösteten Erzes, so mufs, wenn die Röstung gut gelungen war, das Innere dasselbe Aussehen zeigen wie die Oberfläche; zeigt sich ein Kern, dessen Beschaffenheit an diejenige des ungerösteten Erzes erinnert, so war die Zeitdauer der Röstung zu kurz. Dafs es jedoch um so schwieriger ist, die Wirkungen des Röstens gleichmäfsig bis auf das Innere der Erzstücke auszudehnen, je gröfser deren Durchmesser ist, und dafs aus diesem Grunde eine der Röstung voraufgehende Zerkleinerung zweckmäfsig sein kann, wurde schon erwähnt.

Das Zerschlagen der gerösteten Erzstücke mufs ohne Schwierigkeit von statten gehen; einzelne Erze, insbesondere die Karbonate, lassen sich nach gut gelungener Röstung häufig schon mit der Hand in kleinere Stücke zerbrechen.

D. Das Verwittern und Auslaugen.

In früheren Jahrzehnten, als der Erzbedarf der Hochofenwerke erheblich geringer und die Eisenpreise höher als jetzt waren, liefs man die Erze, und zwar vorwiegend die gerösteten, nicht selten mehrere Jahre im Freien lagern, um sie dadurch geeigneter für die Verhüttung zu machen. Die Vorgänge, welche die beabsichtigte Verbesserung der Erzbeschaffenheit hierbei erreichen lassen, sind teils physikalischer, teils chemischer Natur.

Unter dem Einflusse von Sonne und Feuchtigkeit, welche letztere in das Innere der Erzstücke eindringt, bekommen diese, auch die ungerösteten, feine Risse, werden zugänglicher für die reduzierenden Gase und lassen sich leichter zerkleinern. Einzelne Erze trennen sich hierbei von ihrer anhaftenden Gangart. Manche Sphärosiderite aus der Steinkohlenformation kommen mit fest anhaftendem Tonschiefer aus der Grube; beim längeren Lagern an der Luft blättert er ab. Nach Percy wurden früher in Südwales manche Erze regelmäfsig diesem Verfahren unterzogen, um eine kostspieligere Aufbereitung zu ersparen. In kälteren Klimaten werden durch Frostwetter diese Vorgänge besonders befördert; das in die Poren eingedrungene Wasser erstarrt zu Eis und sprengt hierbei die Stücke auseinander (Ausfrieren der Erze).

Die chemischen Einflüsse des Verwitterns haben gröfstenteils

eine Verminderung des Schwefelgehalts der Erze zum Zwecke. Beim Rösten entstehen lösliche Sulfate (Seite 253), welche durch Regen- und Schneewasser gelöst und allmählich entfernt werden. Tritt nach längerem Regenwetter Sonnenschein ein, so gewahrt man nicht selten auf der Oberfläche solcher Erzhaufen Ausblühungen, aus Sulfaten des Eisens, Kupfers, Zinks bestehend, welche gelöst und beim Verdunsten des Wassers zurückgelassen worden waren. Auch in ungerösteten Erzen können unter dem Einflusse der Witterung aus unlöslichen Sulfiden lösliche Sulfate entstehen, welche in jener Weise entfernt werden. Besonders zugänglich für diesen Vorgang ist der Strahlkies ($Fe\,S_2$), während der ebenso zusammengesetzte Schwefelkies sich als widerstandsfähiger erweist.

In der Jetztzeit sind jene Verfahren nur noch selten in Anwendung, nachdem mit der Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen ihr Erzbedarf und somit auch der Platzbedarf für längere Aufbewahrung auf ein Vielfaches des früheren Bedarfs gesteigert ist, und mit der zunehmenden Verwendung mineralischer Brennstoffe für die Verhüttung auch die Aufgabe an Wichtigkeit verloren hat, die Erze zuvor einer tunlichst vollständigen Entschwefelung zu unterziehen. Wo jedoch der Schwefelgehalt der Erze so beträchtlich ist, dafs eine Verminderung durch ein Vorbereitungsverfahren zweckdienlich erscheint, unterwirft man sie auch jetzt noch, nachdem sie geröstet wurden, bisweilen einem künstlichen Auslaugeverfahren mit Wasser, welches rascher als die alleinige Einwirkung der atmosphärischen Niederschläge zum Ziele führt.

In besonders umfänglicher Weise wird seit den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts das Auslaugen auf dem Eisenwerke zu Kladno in Böhmen betrieben. Man verhüttet dort tonige Sphärosiderite des Nučicer Erzlagers, welche im rohen Zustande etwa 0,5 v. H. Schwefel, nach dem Rösten immerhin noch etwa 0,40 v. H. Schwefel enthalten, welcher beim Rösten gröfstenteils in Schwefelsäure übergegangen ist. Zur weiteren Abminderung dieses Schwefelgehalts unterwirft man die Erze einem regelmäfsig geleiteten Auslaugen mit Wasser in gemauerten, oben offenen, mit Zement ausgekleideten Behältern von 50 m Länge, 8 m Breite, 3 m Tiefe. Im ganzen sind zehn solcher Behälter vorhanden, welche in einer Reihe nebeneinander liegen. Oberhalb der Behälter befindet sich eine fahrbare Brücke, von welcher aus die gerösteten, durch eine Drahtseilbahn zugeführten Erze in die Behälter geschüttet werden. Das Wasser fliefst an der einen schmalen Seite jedes Behälters durch ein Rohr von oben her ein und an der gegenüberliegenden Seite durch eine mit Verschlufsvorrichtung (Spund) versehene Öffnung im Boden ab. Anfänglich läfst man täglich, später alle zwei bis drei Tage das Laugwasser ab- und frisches Wasser zufliefsen. Im ganzen verweilen die Erze etwa 20 Tage in den Behältern. Sie werden dann mit Hilfe eines Brownschen Krans von 64 m Spannweite ausgebaggert und in Wagen verladen.

Das ausgelaugte Erz enthält nur noch 0,15 v. H. Schwefel[1]).

[1]) Über eine in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts stattgehabte Anwendung derselben Vorrichtung zur Entphosphorung der Erze durch

E. Die elektromagnetische Aufbereitung.

Zu den vielseitigen, in der Neuzeit entwickelten Zweigen der Elektrotechnik gehört auch die seit ungefähr 1890 eingeführte Anreicherung armer Eisenerze durch die Abscheidung ihrer tauben Gesteine. Das Wesen des Verfahrens beruht darin, dafs die zuvor zu Pulver zerkleinten Erze bei starken Elektromagneten vorbeigeführt werden, wobei die reicheren Teile angezogen werden, die armen unbeeinflufst bleiben. Die Anordnung der Magnete ist verschieden. Bei einigen Anlagen befinden sie sich auf dem Umfange einer umlaufenden Walze und nehmen die angezogenen Teile mit, welche dann durch Bürsten an einer anderen Stelle abgestreift werden; in anderen Fällen wird ein dünner Strom des feinzerkleinten Erzes vor feststehenden Magneten vorbeigeführt und hierdurch eine Ablenkung aller der magnetischen Anziehungskraft unterworfenen Teilchen aus ihrer Richtung bewirkt, so dafs zwei getrennte Ströme entstehen, welche in besonderen Behältern gesammelt werden können.

Ursprünglich glaubte man, dafs nur die Magneteisenerze und die durch Röstung in Eisenoxyduloxyd verwandelten Erze für das Verfahren benutzbar seien. Spateisensteine wurden, um jene Verwandlung zu erleiden, bei beschränktem Luftzutritt, Roteisenerze im reduzierenden Gasstrome geröstet [1]). Durch Wetherill wurde jedoch der Beweis geliefert, dafs sämtliche Eisenerze auch ohne vorbereitende Röstung dem Verfahren unterzogen werden können, wenn man ein hochkonzentriertes magnetisches Feld anwendet, durch welches auch die schwach permeabeln Stoffe bei dem Vorbeigehen eine geringe Ablenkung aus ihrer Bewegungsrichtung erfahren [2]).

In verschiedenen Bezirken, wo arme Eisenerze gewonnen werden, ist die magnetische Aufbereitung eingeführt worden. Hinsichtlich der Einzelheiten der angewendeten Verfahren, deren Besprechung nicht in das Gebiet der Eisenhüttenkunde, sondern in das der Aufbereitungslehre gehört, mufs auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden. Einer allgemeineren Anwendung stehen teils die hohen Kosten einer solchen Aufbereitungsanstalt, teils der Umstand entgegen, dafs die Erze sich in einem feinzerkleinten Zustande befinden müssen, welcher ihre spätere Verhüttung erschwert. Man ist gezwungen, sie durch ein nachfolgendes Verfahren zu Ziegeln zu formen, wenn man gröfsere Mengen davon verarbeiten will; dafs aber die Ergebnisse hierbei nicht immer befriedigend sind, wurde schon früher (Seite 239) erwähnt.

---

eine wässerige Lösung von schwefliger Säure vergl. die unter Literatur genannten Abhandlungen.

[1]) Letzteres Verfahren ist in Alabama in Anwendung gekommen. Vergl. hierüber Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 25, Seite 400 (Phillips).

[2]) Wenn man die Leitfähigkeit (Permeabilität) des Stahls gleich 100000 setzt, ist nach Borchers (Zeitschrift für Elektrochemie 1896/97, Seite 377) diejenige des Magnetits gleich 65000, des Spateisensteins 120, des Rot- und Brauneisensteins im Mittel gleich 70.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

E. F. Dürre, Die Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 1, Seite 7 bis 199 (Vorkommen und Zusammensetzung sowie Vorbereitung der Erze und Zuschläge).
A. v. Kerpely, Die Anlage und die Einrichtung der Eisenhütten, S. 278, 315, 351 (Vorrichtungen zum Zerkleinern, Waschen, Rösten).
H. Wedding, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde, Bd. II, Seite 1—528 (Arten, Vorkommen und Vorbereitung der Eisenerze).

Über Aufbereitung.

P. Rittinger, Lehrbuch der Aufbereitungskunde, Berlin 1867, Seite 24 ff. (Poch- und Walzwerke, Wäschen).
C. Linkenbach, Die Aufbereitung der Erze. Berlin 1887.
Haton de la Goupillière, Grundrifs der Aufbereitungskunde. Deutsch von Viktor Rauscher. Leipzig 1896.
O. Bilharz, Die mechanische Aufbereitung von Erzen. Leipzig 1896.
Ludwig Kirschner, Grundrifs der Erzaufbereitung. Leipzig 1898.
F. Langguth, Elektromagnetische Aufbereitung. Halle 1903.

Über Rösten.

R. Åkerman, Om jernmalmers rostning. Stockholm 1879. Dasselbe Werk in deutscher Übersetzung: Das Rösten der Eisenerze. Leipzig 1880.
H. Tholander, Experimentelle Untersuchungen über die Reduktion von Eisenerzen und die Wirkung der Röstung auf Magneteisensteine und Hämatite. Aus „Iron“ ins Deutsche übertragen von J. v. Ehrenwerth. Wien 1878.

b) Abhandlungen.

P. W. Hofmann, Verwertung der Schwefelkiesrückstände auf Eisen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 18, Seite 522; Polyt. Zentralblatt 1874, Seite 1477.
W. Stahl, Verarbeitung zinkhaltiger Kiesabbrände durch chlorierende Röstung. Berg- und hüttenmänn. Zeitung 1894, Seite 1.
S. Wiborgh, Verfahren zur Bestimmung der Reducierbarkeit der Eisenerze. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 804, 858.
Fr. Kupelwieser, Fortschritte der Verröstung der Eisenerze in Steiermark. Berg- und hüttenm. Jahrb. der k. k. Bergakademien, Bd. 16 (1867), Seite 373.
E. Gruner, Grillage des minerais en Styrie et en Carinthie. Annales des mines, Reihe 7, Bd. 9, Seite 540 (enthält eine ausführliche Beschreibung der Röstverfahren in den österr. Alpenländern nebst Abbildungen der Öfen).
Eisenerzröstöfen (Borries Röstofen, Wagners Öfen). Berg- und hüttenm. Zeitung 1870, Seite 60.
Calcination. Iron, Bd. 13, Seite 163 (Abbildungen englischer Röstöfen).
Calcining kilns at the Ayresome Iron Works, Middlesborough. Engineering, Bd. 13, Seite 170.
Ore roasters. Journal of the United States Association of Charcoal Iron Workers, Bd. 5, Seite 41, 171.
The Grittinger ore kiln. In vorstehend genannter Zeitschrift Bd. 5, Seite 97.
J. Birkinbine, Roasting iron ores. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 12, Seite 361.
S. Jordan, Note sur la grillage des minérais carbonates de fer et de manganèse. Revue universelle des mines, Reihe 3, Bd. 31 (1895), Seite 1.
Verbesserungen an Röstofen nach Davis-Colby. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 774.
H. Wedding, Die Verdichtung der Röstgase in Kotterbach. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1899, Seite 185.

J. Zeman, Notizen aus der Adelberthütte in Kladno. (Rösten, Auslaugen.) Technische Blätter 1870, Seite 149; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 198, Seite 32.

J. Jacobi, Neue Methode zur Entfernung und Verwertung der Phosphorsäure aus Eisenerzen. Bayrisches Industrie- und Gewerbeblatt 1871, Seite 187; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 201, Seite 245.

Gautier, Über das Entphosphoren der Eisenerze in Kladno. Berg- und hüttenm. Zeitung 1876, Seite 8.

Anreicherungsversuche mit trockenen Erzen von Norberg. „Stahl un Eisen" 1888, Seite 822; 1889, Seite 32.

Gromier, Magnetische Aufbereitung von Spateisenstein. Aus dem Bulletin de la société de l'industrie minérale 1893, Seite 455, in „Stahl und Eisen" 1894, Seite 618.

H. Wedding, Die Röstung und magnetische Aufbereitung der Spateisenerze zu Allevard. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1895, Seite 368.

H. Wedding, Das Rösten der Eisenerze zum Zwecke der Magnetisierung. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 771; auch The Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, Seite 116.

W. Phillips, Notes on the magnetisation and concentration of iron-ore. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 25, Seite 399.

Elektromagnetische Aufbereitung der Eisenerze. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 209.

C. Blömecke, Über die magnetische Aufbereitung von nicht magnetischen Mineralien. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1898, Seite 148.

Stefan Farbaky, Magnetische Concentration der Folkmarer Roteisensteine. Österr. Zeitschr. 1898. Seite 182.

H. A. J. Wilkens and H. B. C. Nitze, The magnetic separation of non-magnetic material. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 26 (1897), Seite 351, 1089.

H. Wedding, Die magnetische Aufbereitung von Erzen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1898, Seite 263.

Ed. Primosigh, Magnetische Anreicherung von Eisenerzen nach der Methode von Grödal-Dellwick. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1899, S. 271.

W. Svensson, Die magnetische Eisenerzaufbereitung. Berg- und hüttenm. Zeitung 1899. Seite 259.

H. Wedding, Die Fortschritte in der magnetischen Aufbereitung der Erze. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1899, Seite 154.

H. C. Mc Neill, Some forms of magnetic separators. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 II, Seite 18.

H. Smits, Magnetische Aufbereitung der Eisenerze. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1186.

F. O. Schnelle, Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der magnetischen Aufbereitung. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1902, Seite 183.

J. Wiborgh, On the use of finely-divided iron ore. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 II, Seite 8.

H. Bumby, Über die Verwertung feiner Erze. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 457.

A. Weiskopf, Über Brikettierung von Eisenerzen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 275.

Dr. ing. Weiskopf, Über Anreicherung von Eisenerzen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 471, 532.

Zeidler, Brikettierungsanlage in Kertsch. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 321.

Ch. Rosambert, Beitrag zur Lösung der Frage der Bewertung von Eisenerzen. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 503.

VII. Die metallurgische Chemie des Eisens.

I. Das reine Eisen.

Darstellung.

Ganz reines Eisen läſst sich nur schwierig darstellen, und die verschiedenen Verfahren, welche in chemischen Lehr- und Handbüchern dafür angegeben sind, liefern in der Regel kein reines Eisen, sondern ein solches, welches immerhin noch kleine Mengen der schon auf Seite 3 genannten Fremdkörper, daneben auch wohl von Sauerstoff, Wasserstoff oder Stickstoff enthält.

Am nächsten liegt das Verfahren der Reduktion von reinem Eisenoxyd oder Eisenchlorür im reinen Wasserstoffstrome. Hinderlich ist aber hierbei der Umstand, daſs es schwer ist, jene Eisenverbindungen vollständig frei von anderen Körpern zu erhalten, welche in das Metall übergehen; ferner, daſs das auf solche Weise gewonnene Eisen die Form eines feinen Pulvers oder kleiner Kriställchen besitzt, welche nicht geeignet sind, die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des reinen Eisens erkennen zu lassen. Wollte man versuchen, sie durch Schmelzen zu gröſseren Stücken zu vereinigen, so würde es kaum zu vermeiden sein, daſs das Metall aus den Verbrennungsgasen oder der Luft Sauerstoff, aus den Wänden des Schmelzgefäſses sonstige Fremdkörper (Kohlenstoff, Silicium, Schwefel) aufnähme.

In den letzten Jahrzehnten hat man sich öfters des galvanischen Stroms bedient, um für wissenschaftliche Zwecke reines Eisen in zusammenhängenden Stücken aus einer geeigneten Lösung abzuscheiden. Solches Eisen enthält nun zwar fast stets Wasserstoff oder Stickstoff in gebundener Form, aber durch mäſsiges Glühen bei Abschluſs der Luft lassen sich diese Körper entfernen. Schwieriger ist es jedoch auch hierbei, die Aufnahme kleiner Mengen Kohlenstoff, Schwefel oder sonstiger Fremdkörper zu verhindern, welche aus der Lösung oder selbst aus den Anoden in das ausgeschiedene Metall übergehen. Auf diesem Wege erhielt Osmond[1]) ein Eisen, welches noch 0,08 v. H. Kohlenstoff enthielt, Roberts-Austen[2]) ein solches mit 0,007 v. H. Kohlenstoff und ebensoviel Schwefel, während Hicks und O'Shea[3]) unter Anwendung besonderer Vorsichtsmaſsregeln (Abscheidung aus schwefelsäurefreier Lösung, Einschlieſsen der Anode in eine Tonzelle, welche den abgeschiedenen Kohlenstoff zurückhielt, u. a.) ein Eisen erhielten, in welchem weder Kohle noch Schwefel oder Silicium nachzuweisen waren. Solches Eisen ist spröde und nimmt, abweichend von dem gewöhnlichen weichen Eisen, bleibenden Magnetismus an. Glüht man es und läſst es langsam abkühlen, so verliert es sowohl seine Sprödigkeit als die Fähigkeit, bleibend magnetisch zu werden.

---

[1]) F. Osmond, Transformations du fer et du carbone, Paris 1888, Seite 26.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1887 I, Seite 71.

[3]) W. M. Hicks and L. T. O'Shea, On the production of pure iron by electrolysis. Extracted from the Commemoration Volume of the University College, Sheffield 1897, Seite 32.

Kristallform.

Durch Reduktion von Eisenchlorür im Wasserstoffstrome erhielt Peligot glänzende Oktaeder[1]); Osmond und Cartaud fanden würfelförmige Kristalle, als sie Eisenchlorür durch Zink- oder Natriumdämpfe in verschiedenen Temperaturen reduciert hatten[2]). In Drusen des gewerblich dargestellten, aus dem flüssigen in den festen Zustand übergegangenen Eisens finden sich, sofern das Metall nicht etwa Mangan, Chrom, Phosphor oder andere Körper in sehr reichlicher Menge enthält, ziemlich regelmäfsig oktaedrische Kristalle. Sie erscheinen jedoch niemals in vollkommener Ausbildung, sondern bestehen aus Gerippen, deren Umrisse das regelmäfsige Oktaeder erkennen lassen, und welche nur aus rechtwinkligen Balken erster, zweiter und dritter Ordnung mit abnehmenden Graden der Vollkommenheit zusammengesetzt sind[3]). Abb. 84 zeigt das gewöhnliche Aussehen dieser Kristalle, die man ihrer Ähnlichkeit mit der Form eines Tannenbäumchens halber häufig „Tannenbaumkristalle“ nennt. Am häufigsten und gröfsten (mitunter mit einem Durchmesser von mehreren Zentimetern) finden sie sich in Drusenräumen des grauen Roheisens, deren Wände oft vollständig mit diesen Kristallen bedeckt sind; aber auch im weifsen Roheisen, sofern es nicht sehr kohlenstoffreich ist, und im gegossenen schmiedbaren Eisen lassen sie sich, obschon sie hier selten die Gröfse wie im grauen Roheisen erreichen, teils mit unbewaffnetem Auge, teils mit der Lupe oder dem Mikroskope deutlich erkennen. Obgleich die chemische Untersuchung dieser Kristalle annähernd den gleichen Gehalt an Fremdkörpern nachweist wie im Muttereisen, kann man doch die beschriebene Kristallform als die des reinen, vorher flüssig gewesenen Eisens betrachten. Man nimmt hierbei an, dafs eben, wo die Kristalle sich bilden, der Gehalt an Fremdkörpern nicht ausreichend gewesen sei, Änderungen der Kristallform des reinen Eisens zu bewirken.



Abb. 84.

Verhalten beim Erwärmen und Abkühlen; Haltepunkte. Schmelztemperatur.

Erwärmt man reines oder annähernd reines Eisen durch gleichmäfsige Wärmezuführung, so zeigt sich zunächst bei etwa 790° C., dann bei etwa 900° C. eine Verzögerung der Temperaturzunahme; läfst man das über 900° C. erhitzte Eisen allmählich

[1]) Comptes rendus, Bd. 19, Seite 670.
[2]) Vergl. deren Abhandlung unter Literatur.
[3]) A. Knop, Molekularkonstitution und Wachstum der Kristalle, Leipzig 1867, Seite 68.

abkühlen, so tritt bei annähernd denselben, gewöhnlich etwas niedrigeren Temperaturen eine Verzögerung der Temperaturabnahme, nicht selten sogar eine selbsttätige Wiedererwärmung ein. Offenbar wird in jenen Temperaturen, welche man kritische Temperaturen oder Haltepunkte genannt hat, während der Erwärmung eine gewisse Wärmemenge für einen anderen Vorgang verbraucht, und beim Erkalten wird diese verbrauchte oder zuvor gebundene Wärme wieder frei. Fernere Untersuchungen haben ergeben, dafs während des Erwärmens bei dem unteren Haltepunkte (790° C.) das Eisen seine Eigenschaft verliert, dem Magnete zu folgen, und dafs bei dem oberen Haltepunkte (900° C.) das Gesetz, nach welchem der elektrische Widerstand des Eisens mit der Temperatur zunimmt, aufser Geltung tritt, während bei der Abkühlung des über 900° C. erhitzten Eisens die ursprünglichen Eigenschaften zurückkehren[1]).

Welche Änderungen die Zahl und Lage der Haltepunkte erfährt, wenn das Eisen Fremdkörper, insbesondere Kohlenstoff, enthält, wird bei Besprechung der Vereinigungen des Eisens mit Kohlenstoff Erörterung finden.

Bei etwa 1530° C. liegt die Schmelztemperatur des reinen Eisens[2]).

Härte und Festigkeitseigenschaften. Einflufs des Ablöschens und der Bearbeitung.

Reines oder annähernd reines Eisen ist, zumal wenn es zuvor geglüht wurde, verhältnismäfsig weich, so dafs man mit einem Messer Spänchen davon lostrennen kann, und geschmeidig, d. h. es erträgt sowohl im kalten wie im glühenden Zustande ohne Schwierigkeit ziemlich erhebliche Formveränderungen. Seine Festigkeit übertrifft diejenige der meisten übrigen für Anfertigung von Gebrauchsgegenständen verwendeten Metalle (des Goldes, Silbers, Kupfers, Platins u. a.), ist aber von der Art und Weise der vorausgegangenen Bearbeitung und Abkühlung abhängig, Umständen, welche auch die Festigkeit des gewerblich dargestellten, weniger reinen Eisens beeinflussen und in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde ausführlicher besprochen sind.

Als mittlere Zugfestigkeit reinen Eisens kann man 30 kg auf 1 qmm des Querschnitts annehmen, sofern das geglühte Eisen in gewöhnlicher Weise, d. h. ohne künstliche Beschleunigung, abgekühlt worden war. Kühlt man jedoch das Eisen durch Eintauchen in kaltes Wasser ab, nachdem es auf Temperaturen über 600° C. erwärmt worden war, so zeigt sich eine Zunahme der

---

[1]) In besonders gründlicher Weise sind durch F. Osmond sowie durch Roberts-Austen Untersuchungen über die erwähnten Vorgänge angestellt worden. In den unter Literatur genannten Schriften beider Forscher findet der Leser den Gang der Untersuchungen, die gefundenen Ergebnisse und die daraus gezogenen Schlufsfolgerungen erörtert.

[2]) Nach Roberts-Austen. Aus den Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers in „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 627.

Festigkeit, während die Geschmeidigkeit und die ihr verwandte Zähigkeit[1]) sich verringern. Bei einer durch Schmelzen tunlichst reinen Schweifseisens gewonnenen, alsdann ausgeschmiedeten, abgedrehten und im Stickstoffstrom erhitzten Probe, welche

C	Si	Mn	As	P	S	Cu	Al
0,07	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02

im ganzen demnach 0,22 v. H. Fremdkörper enthielt, beobachtete Arnold[2]) nachstehende Veränderungen der Festigkeitseigenschaften nach dem Ablöschen in eisgekühlter Kochsalzlösung bei verschiedenen Temperaturen:

Temperatur beim Ablöschen ° C.	Bruchbelastung in 1 kg auf 1 qmm Querschnitt	Längenausdehnung in Hundertstel der ursprünglichen Länge (51 mm)	Querschnittsverringerung in Hunderstel des ursprünglichen Querschnitts
15	33,42	44,0	80,0
400	33,71	43,0	76,8
525	35,06	41,0	78,8
600	35,89	34,0	76,2
650	39,89	31,5	76,8
705	40,94	27,5	73,8
780	46,50	29,5	70,8
820	45,97	27,5	75,4
887	50,92	21,5	75,9

Beim Ablöschen unter 500° C. zeigte sich demnach keine deutliche Einwirkung des Ablöschens; besonders erhebliche Steigerungen der Festigkeiten wurden bei 650°, 780° und 887° C. bemerkbar. Es verdient Beachtung, dafs die beiden letzteren dieser Temperaturen mit denjenigen nahe zusammenfallen, welche oben als Haltepunkte oder kritische Temperaturen bezeichnet wurden. Die beobachtete Längenausdehnung nimmt stetig ab, wenn die Festigkeit zunimmt; geringer sind die Änderungen, welche in dem vorliegenden Falle die Querschnittsverringerung der Probestäbe erlitt.

Ähnliche Ergebnisse erhielt Charpy[3]) mit einem Eisen, welches

C	Si	Mn	P	S
0,07	0,01	0,14	Spur	0,01

[1]) Man kann Zähigkeit als das Mafs des Widerstandes bezeichnen, welchen ein Körper unter der Einwirkung von Stöfsen oder Erschütterungen dem Bruche entgegensetzt. Der Gegensatz ist Sprödigkeit. Bei Festigkeitsprüfungen betrachtet man die vor dem Bruche eintretende Formveränderung (Längenausdehnung oder Querschnittsverringerung bei Zugversuchen) als Mafsstab der Zähigkeit. Je gröfser jene Formveränderung ist, desto mehr mechanische Arbeit wird dafür verbraucht, desto geringer ist die Gefahr für den Bruch. Zuverlässigere Auskunft über das Mafs der Zähigkeit erhält man freilich durch unmittelbare Schlagversuche.

[2]) Engineering vom 9. Juli 1897, Seite 48; daraus in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 668.

[3]) Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, Juni 1895, Seite 692; daraus in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 750.

enthielt und nach dem Erhitzen in kaltem Wasser abgelöscht wurde.

Aus der gröfseren Versuchsreihe sind die nachstehenden Ergebnisse herausgegriffen.

Temperatur beim Ablöschen °C.	Elastizitätsgrenze in kg auf 1 qmm	Bruchbelastung in kg auf 1 qmm	Längenausdehnung Hundertstel	Querschnittsverringerung Hundertstel
0	21,0	29,1	40,4	76,0
700	28,9	40,7	21,0	74,3
900	39,6	53,5	20,2	69,8

Die Versuche zeigen, dafs mit der Festigkeit auch die Elastizitätsgrenze beim Ablöschen sich erhöht.

Dafs auch die Geschwindigkeit der Abkühlung von Einflufs ist, wurde durch einen Versuch Howes[1]) dargetan, bei welchem er zwei gleiche, auf 930° C. erwärmte Proben mit

C	Mn	Si	P	S	Cu
0,022	0,000	Spur	0,007	0,014	0,100

und einer Zugfestigkeit von 34,14 kg das eine Mal in Wasser von gewöhnlicher Temperatur, das andere Mal in eisgekühlter Kochsalzlösung ablöschte. In dem ersteren Falle betrug die Zugfestigkeit 36,58 kg, in dem anderen Falle 47,88 kg.

Obgleich die für die erwähnten Versuche benutzten Proben in keinem Falle aus ganz reinem Eisen bestanden, sind die Änderungen der Festigkeitseigenschaften beim Ablöschen doch zu erheblich, als dafs man sie lediglich dem Einflusse der kleinen Menge anwesender Fremdkörper zuschreiben könnte.

Ähnliche Einflüsse wie durch Erhitzen und Ablöschen werden durch mechanische, eine bleibende Formveränderung bewirkende Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur hervorgerufen: die Festigkeit und Elastizitätsgrenze werden erhöht, die Geschmeidigkeit und Zähigkeit nehmen ab. Versuchsergebnisse mit ganz reinem Eisen liegen zwar auch über diesen Vorgang nicht vor; Versuche mit kohlenstoffarmem Handelseisen lassen erkennen, dafs auf diese Weise eine Steigerung der Festigkeit auf das anderthalbfache Mafs erreichbar ist, während die Zähigkeit sich erheblich verringert. Beispiele hiervon sind in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde gegeben.

Eine solche Beeinflussung erleidet das Eisen auch, wenn es bei Festigkeitsprüfungen über die Elastizitätsgrenze belastet wird, und der Erfolg ist der gleiche wie bei der mechanischen Bearbeitung. Verfolgt man jedoch die bei zunehmender Belastung eintretenden Formveränderungen, so zeigt das ausgeglühte Eisen bei einer Belastung, welche man als Streckgrenze oder Fliefsgrenze bezeichnet, eine plötzlich ohne Vergröfserung der Belastung

[1]) Engineering and Mining Journal, Bd. 62, Seite 557 und Bd. 63, Seite 111; daraus in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 438.

eintretende starke Formveränderung, ein Fliefsen (bei Zugversuchen Längenausdehnung), welches jedoch nur ein gewisses Mafs erreicht, worauf erst bei Vergröfserung der Belastung eine fernere Formveränderung bemerkbar wird. Bei Zugversuchen mit reinem Eisen, dessen Festigkeit 30 kg auf 1 qmm beträgt, liegt diese Streckgrenze bei einer Belastung von ungefähr 18 kg. Verzeichnet man die Schaulinie der bei zunehmender Belastung eintretenden Formveränderungen, indem man die Belastungen auf der Ordinate, die der jedesmaligen Belastung entsprechende Formveränderung auf der Abscisse aufträgt, so erhält man die Linie *A* in Abb. 85; zwischen 1 und 2 findet das erwähnte Fliefsen statt. War das Eisen dagegen zuvor über den Haltepunkt hinaus erhitzt und rasch in kaltem Wasser abgelöscht, oder war es einer zuvorigen Formveränderung durch mechanische Bearbeitung ohne Erhitzung unterworfen, so tritt jenes Fliefsen nicht ein; die Schaulinie bei der Festigkeitsprüfung zeigt die Form der Linie *B* in Abb. 85 [1]). Auch dann verschwindet der Absatz 1—2 in der Linie *A*, d. h. das Metall fliefst nicht, und die Schaulinie bekommt die Form *B*, wenn das Metall in Temperaturen über 600° C. geprüft wird [2]).

Abb. 85.

Alle jene Veränderungen, welche das Eisen durch Ablöschen im erhitzten Zustande oder durch mechanische Beanspruchung in gewöhnlicher Temperatur erleidet, verschwinden wieder, wenn es über den unteren Haltepunkt hinaus erhitzt und dann langsam abgekühlt wird.

Allotropie des Eisens.

Die mitgeteilten Veränderungen, welche die Eigenschaften des Eisens beim Erwärmen und Abkühlen sowie bei der mechanischen Bearbeitung erleiden, lassen sich nur erklären, wenn man annimmt, dafs das Eisen, wie der Schwefel, Phosphor und andere Körper, verschiedene, durch abweichende Eigenschaften gekennzeichnete Formen anzunehmen vermöge, die man α-Eisen, β-Eisen und γ-Eisen genannt hat [3]). Der Beginn des Übergangs der einen Form in die andere ist durch die Haltepunkte beim Erwärmen und Abkühlen gekennzeichnet. Das Eisen ist allotropisch [4]).

---

[1]) Vergl. Charpys in Fufsanmerkung 3 auf Seite 285 genannte Abhandlung.

[2]) Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin, Jahrgang 1890, Seite 159.

[3]) Die Ansicht ist zuerst von Osmond in der unter Literatur genannten Abhandlung: Osmond et Werth, Théorie cellulaire des propriétés de l'acier aufgestellt und in zahlreichen späteren Arbeiten verfochten worden.

[4]) Allotropie ist die Fähigkeit eines einfachen Körpers, unter bestimmten Einwirkungen seinen Energiegehalt und seine physikalischen und chemischen Eigen-

Ausgeglühtes und dann langsam abgekühltes reines Eisen enthält nur α-Eisen. Es ist verhältnismäfsig weich, geschmeidig. Wird es erhitzt, so wandelt es sich bei etwa 790° C., dem unteren Haltepunkte, in β-Eisen um, und der stattfindende Wärmeverbrauch, durch die obenerwähnte Verzögerung der Temperaturzunahme gekennzeichnet, verrät diese Umwandlung; eine gewisse Zeitdauer der Erwärmung ist notwendig, damit sie vollständig sei. Eisen, welches längere Zeit über jene Temperatur erhitzt worden ist, enthält demnach, solange es nicht abgekühlt wird, nur β-Eisen; dieses wandelt sich bei langsamer Abkühlung wieder in α-Eisen um, und die an dem Haltepunkte stattfindende Wärmeentwicklung verrät wiederum diesen Vorgang. Diese Umwandlung des β-Eisens in α-Eisen läfst sich jedoch ganz oder teilweise hintertreiben, wenn es nicht allmählich, sondern plötzlich durch Ablöschen in kaltem Wasser abgekühlt wird, und je rascher diese Abkühlung stattfand, desto mehr β-Eisen ist auch in dem erkalteten Metalle zugegen. Es ist fester, spröder als α-Eisen und nimmt bleibenden Magnetismus an. Jener Knick in der Schaulinie *A* (Abb. 85) wird undeutlicher, je mehr der Gehalt an β-Eisen zunimmt, und verschwindet schliefslich ganz, wie in der Schaulinie *B*.

Derselbe Erfolg wie durch Erhitzen und rasches Ablöschen läfst sich auch durch mechanische Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur erreichen, bei welcher die Elastizitätsgrenze überschritten wird; es entsteht um so mehr β-Eisen neben α-Eisen, je stärker die erzeugte bleibende Formveränderung ist[1]), und das solcherart bearbeitete Stück nimmt ebenfalls bleibenden Magnetismus an[2]). In beiden Fällen wird durch Erhitzen über den Haltepunkt hinaus mit darauf folgender langsamer Abkühlung das β-Eisen wieder in α-Eisen umgewandelt.

Wird das Eisen über 900° C. erhitzt, so entsteht γ-Eisen, dessen mechanische Eigenschaften denen des β-Eisens ähnlich, jedoch noch nicht hinlänglich erforscht sind. Chemisch unterscheidet es sich vom α- und vom β-Eisen durch seine Fähigkeit, Kohlenstoff in Lösung zu halten; das α- und β-Eisen sind kohlenstofffrei.

2. Allgemeines über die Vereinigungen des Eisens mit anderen Körpern.

Die schon erwähnte Schwierigkeit, ganz reines Eisen darzustellen, deutet auf eine starke Neigung des Eisens hin, mit

---

schaften zu ändern, ohne dafs seine chemische Zusammensetzung Änderungen erleidet.

[1]) Die Eigenschaft, bei der Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur höher und spröder zu werden, besitzen auch die meisten übrigen Metalle, und eine Erklärung dafür läfst sich nur finden, wenn man annimmt, dafs auch sie fähig seien, in eine zweite Form überzugehen, wenn sie eine bleibende Formveränderung ohne Erwärmung erleiden. Beim Ausglühen nehmen auch sie ihre ursprüngliche Eigenschaften wieder an; aber rasche Abkühlung verhindert bei ihnen nicht, wie beim Eisen, diesen Übergang.

[2]) Versuche Charpys hierüber: Aus den Comptes rendus Bd. 117, Seite 850 in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 459.

anderen Körpern (deren wichtigste bereits auf Seite 3 genannt wurden) Vereinigungen einzugehen. Jene Fremdkörper sind teils Metalle, teils Metalloide; die Vereinigungen des Eisens mit ihnen nennt man, wie die Vereinigungen verschiedener Metalle untereinander oder mit Metalloiden in unbestimmten Gewichtsverhältnissen überhaupt, Legierungen [1]). Von den chemischen Verbindungen im engeren Sinne unterscheiden sich die Legierungen vornehmlich dadurch, daſs ihre Zusammensetzung unabhängig ist von den Atomgewichten und innerhalb gewisser Grenzen in beliebigen Gewichtsverhältnissen erfolgen kann, ja nicht selten vollständig unbeschränkt ist; aber sie besitzen durchaus metallische Eigenart, während ihre physikalischen Eigenschaften oft nicht unerheblich von denen der Einzelbestandteile abweichen.

Eine Legierung ist demnach eine metallische Lösung zweier oder mehrerer Körper ineinander, innerhalb welcher zwar engere chemische Verbindungen der Bestandteile entstehen können, ohne daſs die Entstehung dieser Verbindungen notwendig ist oder das Wesen der Legierung bedingt. Äuſsere Verhältnisse, z. B. die Temperatur, welcher eine Legierung ausgesetzt ist, können auf das Entstehen und Zerfallen solcher chemischen Verbindungen innerhalb einer Legierung Einfluſs haben, und manche Abweichungen der Eigenschaften übereinstimmend zusammengesetzter Legierungen finden hierdurch ihre Erklärung.

Auſser der Temperatur beinflussen das Massenverhältnis, in welchem die Bestandteile anwesend sind, sowie das Maſs ihres Vereinigungsbestrebens das Entstehen und Zerfallen bestimmter chemischer Verbindungen. Finden sich zwei Körper nebeneinander, welche starke Neigung besitzen, sich unter den gegebenen Verhältnissen zu bestimmten chemischen Verbindungen zu vereinigen, so darf man annehmen, daſs nicht die Einzelkörper, sondern ihre Verbindungen in der Legierung gelöst sind, vermögen aber jene Körper verschiedene Verbindungen einzugehen, so entsteht diejenige, welche den gröſsten Gehalt des im Überschusse anwesenden Bestandteils enthält.

Nimmt z. B. flüssiges Eisen Sauerstoff auf, welcher Fall bei der Fluſseisenerzeugung häufig vorkommt, so kann dieser Sauerstoff in Anbetracht des starken chemischen Vereinigungsbestrebens zwischen Eisen und Sauerstoff nicht im freien Zustande, sondern nur in Form einer Eisensauerstoffverbindung gelöst sein, und da ein sehr beträchtlicher verfügbarer Überschuſs von metallischem Eisen zugegen ist, kann überhaupt nur die eisenreichste (sauerstoffärmste) dieser Verbindungen, das Eisenoxydul FeO, entstehen. Jede eisenärmere Verbindung (Fe_3O_4, Fe_2O_3) würde durch das überschüssige Eisen zerlegt werden. Diese Tatsache wird nicht allein durch das chemische Verhalten der Körper im allgemeinen erwiesen, sondern steht auch mit dem (allerdings nur bedingungsweise gültigen) Gesetze der Thermochemie im Einklange, nach welchem zwei verbindungsfähige Einzelkörper diejenige Verbindung einzugehen bestrebt sind, welche der gröſsten Wärmeentwicklung

[1]) Von dem italienischen Worte lega, das Bündnis, die Vereinigung.

entspricht[1]). In dem erwähnten Falle stehen dem angenommenen Sauerstoff beliebige Eisenmengen für die Bildung chemischer Vereinigungen zur Verfügung; er bildet Eisenoxydul, wobei nach den auf Seite 58 gegebenen Ziffern die stärkste Wärmeentwicklung stattfindet.

Tritt nun aber zu einer Legierung, welche eine solche Verbindung gelöst enthält, ein dritter Körper, welcher zu dem in beschränkter Menge anwesenden Bestandteile — also in dem besprochenen Falle zum Sauerstoff — ein stärkeres Vereinigungsbestreben besitzt als der bisher mit ihm verbunden gewesene Körper, so wird die Verbindung zerlegt, indem eine Verbindung des hinzugetretenen Körpers entsteht. Ist diese Verbindung unlöslich oder schwerer löslich in der flüssigen Legierung als die früher vorhandene, so kann hierdurch eine Ausscheidung des früher anwesenden Körpers bewirkt werden. In je gröfserem Überschusse der neue Körper in die Legierung eintritt, und je stärker sein Vereinigungsbestreben zu dem früher anwesenden ist, desto rascher und vollständiger verläuft jene Zersetzung und unter Umständen Ausscheidung.

So z. B. besitzen Silicium, Mangan, Aluminium in der Temperatur des flüssigen Eisens ein stärkeres Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff als das Eisen. Wird demnach einer dieser Körper von flüssigem Eisen, welches eisenoxydulhaltig war, aufgenommen, so tritt eine Zerlegung des Eisenoxyduls ein, um so rascher und vollständiger, in je gröfserem Überschusse die Aufnahme stattfindet, und sofern die neu entstehende Eisensauerstoffverbindung unlöslich im flüssigen Eisen ist, kann eine vollständige Sauerstoffausscheidung hierdurch bewirkt werden. Je stärker verdünnt aber die aufeinander wirkenden Körper im flüssigen Eisen sind, d. h. je geringer ihre Menge im Eisen ist, desto langsamer verläuft der Vorgang, desto leichter kann es geschehen, dafs beim Erstarren des Metalls jene Wirkung noch unvollendet blieb[2]).

Jedes gewerblich dargestellte Eisen ist demnach eine Legierung des Eisens mit anderen Körpern, deren Menge im schmiedbaren Eisen oft nur wenige Tausendteile, im Roheisen mindestens 2,5, häufiger 8—12 Hundertteile beträgt, in den Eisenmanganlegierungen aber nicht selten die Menge des Eisens überwiegt.

Verschiedenen Körpern gegenüber besitzt das Eisen abweichende Legierungsfähigkeit. Sie ist unbegrenzt, d. h. das Eisen kann in jedem beliebigen Gewichtsverhältnisse sich vereinigen mit Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Kobalt, Gold, Platin, Aluminium, Zinn, Antimon, Arsen, Schwefel, Phosphor, Silicium u. a.; sie ist beschränkt, d. h. die Legierung kann nur bis zu einem gewissen Gehalte

---

[1]) Jahn, Grundsätze der Thermochemie, 2. Aufl., Seite 128; Nernst, Theoretische Chemie, 4. Aufl., Seite 667 u. 670.

[2]) Es möge hier daran erinnert werden, dafs auch bei Zersetzungen in kaltflüssigen Lösungen ganz die nämlichen Umstände mafsgebend sind. Will man einen gelösten Körper durch Ausfällung quantitativ bestimmen, so ist eine vollständige Ausfällung in kurzer Zeit nur durch einen Überschufs des Fällungsmittels möglich; je gröfser dieser Überschufs ist, desto rascher geht die Zersetzung von statten.

des einen oder anderen Körpers ausgedehnt werden, mit Zink, Wismut, Kupfer, Kohle; fast gar nicht legiert sich das Eisen mit Blei, Silber, Quecksilber.

Obgleich die Veränderungen, welche die Eigenschaften eines Metalls und somit auch des Eisens durch die Aufnahme eines anderen Körpers erleiden, verschieden sein können, ist doch eine gewisse Gesetzmäfsigkeit dabei nicht zu verkennen. Ziemlich übereinstimmend zeigt sich:

Dafs die Festigkeit des legierten Metalls gröfser ist als die des reinen, sofern eine gewisse Grenze in dem Gehalte des zweiten Körpers nicht überschritten wird, dafs aber, sobald diese Grenze erreicht ist, mit der Zunahme des Gehalts an dem fremden Bestandteile rasche Abnahme der Festigkeit eintritt. Bei der Legierung mit Metalloiden pflegt die Grenze früher als bei der Legierung mit Metallen erreicht zu werden. In jedem Falle nimmt aber die Zähigkeit eines reines Metalles von vornherein ab, wenn es einen anderen Körper aufnimmt. Es wird spröder.

Dafs die Härte des legierten Metalls bedeutender, die Zähigkeit und Geschmeidigkeit geringer ist als die des reinen.

Dafs die Schmelztemperatur legierter Metalle niedriger liegt als die aus den Schmelztemperaturen der Bestandteile der Legierung berechnete Durchschnittstemperatur; häufig sogar niedriger als die Schmelztemperatur jedes einzelnen Bestandteils. Tritt demnach ein in höherer Temperatur schmelzbarer Körper, z. B. Mangan, zu dem Eisen, so kann dessen Schmelztemperatur noch erniedrigt werden, sofern die Menge des hinzutretenden Körpers ein gewisses Mafs nicht übersteigt; auch die manganreicheren Legierungen schmelzen früher, als die Berechnung aus den Schmelztemperaturen der Einzelmetalle ergeben würde. Ganz besonders deutlich zeigt sich dieser Einflufs bei den Legierungen des Eisens mit dem im reinen Zustande unschmelzbaren Kohlenstoff, deren Schmelztemperatur durch jedes Hundertteil Kohlenstoff um ungefähr 100° C. erniedrigt wird.

Sind mehrere Körper in einer Legierung anwesend, welche in gleicher Richtung die Eigenschaften des Grundmetalls (des Eisens) beeinflussen, so ist das Mafs ihres Einflusses gewöhnlich gröfser, als der Summe ihrer Einflüsse entsprechen würde. Daher sinkt z. B. die Schmelztemperatur der Legierungen (ebenso wie die der Schlacken, vergl. Seite 210) nicht nur mit zunehmender Gewichtsmenge, sondern auch mit zunehmender Zahl der anwesenden Fremdkörper.

Ebenso wie viele andere Lösungen, z. B. Kochsalzlösung, Schlacken (Seite 206), zeigen auch viele Legierungen die Eigenschaft, beim Erstarren und sogar noch während der nachfolgenden Abkühlung zu zerfallen, indem zunächst einzelne Bestandteile sich aus der Lösung absondern, bis schliefslich die eutektische Lösung zurückgeblieben ist. Man nennt bei den Legierungen dieses Zerfallen beim Erstarren Saigerung[1]). Auch das flüssige, andere

[1]) Saigern bedeutet ursprünglich einen Vorgang, welcher erst die Folge jenes Zerfallens ist. Wenn nämlich Körper von sehr abweichender Schmelztemperatur

Körper enthaltende Eisen besitzt die Eigenschaft des Saigerns. Es gibt in der Tat kein durch die gewöhnlichen Verfahren erzeugtes und demnach gewisse Mengen von Fremdkörpern enthaltendes Eisen, welches, wenn es flüssig gewesen war, als vollständig gleichartige Masse erstarrt. Stets sondern sich einzelne abweichend zusammengesetzte Verbindungen oder Einzelkörper von der Hauptmasse, entweder diese netz- oder aderförmig durchsetzend oder zu einzelnen Anhäufungen zusammentretend, welche von der Hauptmasse umgeben oder in irgend einer anderen Form innerhalb der Hauptmasse verteilt sind. Verschiedene Merkmale verraten diesen Vorgang. Bei sehr starker Saigerung kann es geschehen, daſs im Inneren von Hohlräumen, welche beim Erstarren des flüssigen Metalls entstanden, sich Ausscheidungen in Linsen-, Bohnen- oder Nierenform finden, welche erheblich anders zusammengesetzt sind als das Muttermetall, aus dem sie ausschieden; oder daſs beim Zusammenziehen (Schwinden) des erstarrten, noch glühenden Metalls leichtflüssigere, noch im flüssigen Zustande verharrende Legierungen herausgedrückt werden, wie man Quecksilber durch einen Lederbeutel drücken kann, und alsdann die Oberfläche des Metalls in Form zahlreicher Tropfen bedecken, mitunter mikroskopisch klein, mitunter in der Gröſse einer Erbse und darüber, deren chemische Zusammensetzung auf ihre Entstehungsursache hinweist. Auch Proben, welche an verschiedenen Stellen, z. B. in der Mitte und am Rande eines gröſseren gegossenen Eisenstücks entnommen wurden, lassen bei der chemischen Untersuchung nicht selten deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung des rascher und des langsamer erkalteten Metalls erkennen. Beispiele dieser Vorkommnisse sind bei Besprechung der Eigenschaften des Roheisens in der zweiten Abteilung und des Fluſseisens in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde gegeben.

Je langsamer die Abkühlung einer erstarrenden Legierung sich vollzieht, desto deutlicher zeigt sich die Saigerung. Durch rasche Abkühlung einer flüssigen Legierung läſst sich die Saigerung mitunter verhindern[1]; findet aber Saigerung statt, so haben die länger flüssig bleibenden Körper um so mehr Gelegenheit, sich da anzuhäufen, wo das Metall zuletzt erstarrte, und sie sind um so weniger gleichmäſsig innerhalb des früher erstarrenden Bestandteils verteilt, je weniger rasch die Erstarrung und Abkühlung von statten geht.

Wertvolle Aufschlüsse über diese Vorgänge vermag die in sachgemäſser Weise durchgeführte mikroskopische Untersuchung des erkalteten Metalls zu liefern.

---

sich voneinander sondern und die erstarrte Legierung nun wieder allmählich erhitzt wird, so kann es geschehen, daſs die leichter schmelzbaren Bestandteile in Tropfen ausflieſsen, d. h. aussickern oder „aussaigern", bevor die schwerer schmelzbaren flüssig geworden sind. So läſst sich kupferarmes, leichter schmelzbares Blei von bleiarmem, schwerer schmelzbarem Kupfer, bleiärmeres Zinn von zinnarmem Blei trennen; beim Eisen kommt indes eine Saigerung in diesem engeren Sinne kaum vor.

[1]) Ein besonders deutliches Beispiel hierfür ist die unten ausführlich besprochene Behinderung der Graphitbildung im grauen Roheisen durch rasche Abkühlung.

Die voneinander gesonderten Körper besitzen in der Regel verschiedenen Härtegrad, häufig auch verschiedenes Gefüge; schleift man also die zu untersuchende Probe in geeigneter Weise mit feinen Schleifmitteln, so sind auf der Schlifffläche schon häufig ohne weiteres die getrennten Bestandteile durch ihr verschiedenes Aussehen unter dem Mikroskope zu erkennen. Sie sind aber auch chemischen Einflüssen verschieden stark zugänglich. Setzt man also die Schlifffläche der Einwirkung schwacher Lösungsmittel aus, welche die nebeneinander ausgeschiedenen Körper verschieden stark angreifen, so läfst sich mit Hilfe des Mikroskops die Anwesenheit und Anordnung jener Teile gewöhnlich noch deutlicher wahrnehmen. Durch mäfsiges Erwärmen der geätzten Fläche, wobei einzelne Bestandteile stärker als andere anlaufen, oder durch Erzeugung eines dünnen galvanischen Gold- oder Kupferniederschlags auf der Fläche, welcher nur auf einzelnen Bestandteilen sich anzusetzen pflegt, andere dagegen freiläfst, kann man die Erkennung mitunter ferner erleichtern.

Die Untersuchungen des Kleingefüges des Eisens hat sich in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts zu einem besonderen Zweige der Wissenschaft entwickelt, welcher man den Namen Metallographie, d. i. Ermittelung der Gefügebildner der Legierungen und deren Eigenschaften, gegeben hat. Unserer Kenntnis von dem Verhalten des Eisens ist mancher Fortschritt hierdurch erwachsen, welcher, wie jede Errungenschaft der Forschung, auch dem Betriebe Nutzen bringt; bei der unten folgenden Besprechung der Vereinigungen des Eisens mit Kohlenstoff wird diese Tatsache noch eingehendere Erwähnung finden. Man ermittelt durch die mikrographische Untersuchung der entsprechend vorgerichteten Proben die verschiedenen Bestandteile der Legierungen und deren Eigenschaften: Farbe, Glanz, Härte, Kristallisation, Spaltung; man ermittelt ferner, welche Änderungen die Anordnung und Eigenschaften jener Gefügebestandteile durch Behandlung in höheren Temperaturen erfahren, und man wird hierdurch nicht selten auch befähigt, Aufschlüsse über die Ursache des regelwidrigen Verhaltens des einen oder anderen Erzeugnisses zu erhalten.

Über die Ausführung der mikroskopischen Untersuchung des Eisens geben die unter Literatur genannten Schriften Belehrung.

3. Eisen und Sauerstoff.

Die verschiedenen Eisensauerstoffverbindungen.

Das Vereinigungsbestreben zwischen Eisen und Sauerstoff ist ziemlich stark. Leichter als Kupfer, Zinn, Blei und sämtliche Edelmetalle wird das Eisen zur Vereinigung mit Sauerstoff ververanlafst; schwieriger als jene Metalle wird es aus seinen Sauerstoffverbindungen abgeschieden.

Unter diesen Sauerstoffverbindungen spielen die Eisensäure (H_2FeO_4) und ihr Anhydrid (FeO_3), welche beide im freien Zustande nicht bestehen können, keine Rolle im Eisenhüttenwesen.

Das Eisenoxyd Fe_2O_3 bildet den Bestandteil der Roteisen-

erze und in Verbindung mit Wasser denjenigen der Brauneisenerze; es entsteht beim Glühen des Eisens unter oxydierenden Einflüssen in nicht allzu hoher Temperatur sowie beim oxydierenden Rösten oxydulhaltiger Erze und der Eisenkiese. Dafs es in Weifsglut leicht einen Teil seines Sauerstoffs abgibt, wurde bereits auf Seite 257 erwähnt[1]; als Oxydationsmittel vermag es schon in Rotglut zu wirken, wenn es in jener Temperatur mit verbrennungsfähigen Körpern — Kohle und Kohlenoxyd, Wasserstoff, Mangan, Silicium und anderen — zusammentrifft. Hierbei hinterbleibt Eisenoxyduloxyd, Eisenoxydul oder metallisches Eisen, abweichend nach dem Massenverhältnisse der aufeinander wirkenden Körper und der herrschenden Temperatur. Da das Eisenoxyd, zumal in höherer Temperatur, eher die Eigenschaften einer Säure als einer Base besitzt — es vermag z. B., wie schon auf Seite 257 erwähnt worden ist, mit Kalkerde eine schmelzbare Verbindung einzugehen —, erklärt es sich, dafs es in Schlacken nur bestehen kann, wenn diese basische Beschaffenheit besitzen, und dafs es um so leichter in Eisenoxydul übergeht, je reicher an Kieselsäure die Schlacken sind, und je höher ihre Entstehungstemperatur ist. Bisilikatschlacken, in hoher Temperatur entstanden (z. B. Bessemerschlacken), enthalten keine Spur von Eisenoxyd, auch wenn kräftig oxydierende Einflüsse bei ihrer Entstehung mafsgebend waren. Auch in stark basischen Schlacken pflegt neben dem Eisenoxyd in noch reicherer Menge Eisenoxydul zugegen zu sein.

E i s e n o x y d u l o x y d, dessen Zusammensetzung nur ausnahmsweise der Formel Fe_3O_4 entspricht, häufiger zwischen Fe_2O_3 und FeO schwankt, wird von der Natur als Magneteisenerz geliefert und entsteht beim Glühen des Eisens unter weniger stark oxydierenden Einflüssen oder in höherer Temperatur als das Eisenoxyd. Es läfst sich als eine Vereinigung, gewissermafsen Legierung des Eisenoxyds mit Eisenoxydul in wechselnden Verhältnissen betrachten. Je mehr die äufseren Umstände die Entstehung des Eisenoxyds begünstigen, desto sauerstoffreicher ist das Eisenoxyduloxyd, und umgekehrt.

E i s e n o x y d u l FeO ist, wie bekannt, im freien Zustande schwierig zu erhalten, spielt aber in seinen Verbindungen, in welchen es als Base auftritt und demnach als um so beständiger sich erweist, je säurereicher diese Verbindungen sind, eine wichtige Rolle. Mit dem Eisenoxyd vereinigt es sich zu dem soeben besprochenen Eisenoxyduloxyd; mit Kohlensäure verbunden tritt es in der Natur als Spateisenerz und Sphärosiderit auf; in Schlacken findet es sich in oft reichlicher Menge. Wird flüssiges Eisen der Einwirkung der Luft oder oxydierender Gase ausgesetzt oder mit sonstigen sauerstoffabgebenden Körpern (z. B. Eisenerzen) in Berührung gebracht, so kann, wenn das Metall nicht reduzierend wirkende Körper (Kohlenstoff, Silicium, Mangan) in reichlichen Mengen enthält, Eisenoxydul entstehen und sich im flüssigen Eisen lösen; eine höhere Oxydationsstufe des Eisens kann, da stets ein

[1] Nach Versuchen von Åkerman gibt Eisenoxyd sogar schon bei 900° C. im Kohlensäurestrome einen Teil seines Sauerstoffgehalts ab. „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 149.

Überschufs des Metalls zugegen ist, nicht als solche gelöst werden, sondern wird zu Eisenoxydul reduziert (Seite 289). Die Menge des Eisenoxyduls, welches flüssiges Eisen aufzunehmen vermag, ist jedoch beschränkt und beträgt den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen zufolge ungefähr 1,1 v. H., entsprechend 0,25 v. H. Sauerstoff. Je mehr Körper zugegen sind, welche in der Temperatur des geschmolzenen Eisens das Eisenoxydul reduzieren, desto geringer ist der Eisenoxydulgehalt, desto rascher wird es zerstört. Nachstehende Analysen von Eisen, welches in der Thomasbirne aus Roheisen durch anhaltende Einwirkung der Gebläseluft (sog. Überblasen) erzeugt worden war, geben einen Beleg hierfür:

	I	II	III
Kohlenstoff	0,087	0,128	0,050
Silicium	0,001	0,000	0,000
Schwefel	0,059	0,098	0,057
Phosphor	0,058	0,149	0,075
Mangan	0,080	0,180	0,115
Kupfer	0,046	0,095	0,061
Kobalt, Nickel . . .	0,064	0,140	0,110
Eisenoxydul	1,098	0,887	0,774

Das an Kohlenstoff und Mangan ärmste Eisen I ist das an Eisenoxydul reichste.

Kleinere Mengen Eisenoxydul können auch im kohlenstoff- und manganreicheren Eisen auftreten, sofern dieses erstarrte, bevor die Zersetzung des Eisenoxyduls durch jene Körper beendet war; z. B.

	IV	V	VI	VII
Kohlenstoff . .	0,24	0,16	0,12	0,24
Silicium . . .	0,00	0,03	0,00	0,12
Schwefel . . .	0,05	0,06	0,06	0,08
Phosphor . . .	0,08	0,08	0,12	0,28
Mangan	0,12	0,17	0,12	0,37
Kupfer	0,18	0,11	0,02	0,16
Kobalt, Nickel .	0,05	0,05	0,03	0,18
Eisenoxydul . .	0,82	0,82	0,18	0,12

Die untersuchten Eisenproben waren Flufseisen, teils aus dem Martinofen, teils aus der Bessemer- oder Thomasbirne[1]).

Nicht möglich ist die Anwesenheit einigermafsen erheblicher Mengen von Eisenoxydul im kohlenstoffreichen Roheisen, dessen beträchtlicher Überschufs an reduzierenden Körpern die rasche Zerstörung des Eisenoxyduls bewirken würde. Dafs dagegen kohlenstoff-, mangan- und siliciumarmes Roheisen, welches seiner Zusammensetzung nach dem Stahle nahe steht, Eisenoxydul enthalten kann, läfst sich aus den Erscheinungen beim Fliefsen dieser Roheisenart folgern (vergl. „Grelles Roheisen“ in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde).

Jener im Flufseisen auftretende Gehalt an Eisenoxydul übt auf

---

[1]) Sonstige Analysen: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 10, Seite 181.

dessen Verhalten beachtenswerte Einflüsse aus. Sofern der Gehalt mehr als 0,6 v. H. (oder etwa 0,1 v. H. Sauerstoff) beträgt, verliert das Eisen an Schmiedbarkeit in Rotglut, es wird „rotbrüchig"; in Weifsglut dagegen hört dieser Einflufs auf, und das Eisen kann gut schmiedbar sein. Die unausgesetzt stattfindende Einwirkung des im flüssigen Metalle anwesenden Eisenoxyduls auf den nie ganz fehlenden Kohlenstoffgehalt aber hat eine Bildung von Kohlenoxydgas zur Folge, welches beim Erstarren die Entstehung von Hohlräumen durch zurückgehaltene Gasblasen veranlassen kann.

Da das Eisenoxydul die niedrigste Oxydationsstufe des Eisens ist, entsteht bei dessen Reduktion in jedem Falle metallisches Eisen. Während aber Eisenoxyd verhältnismäfsig leicht einen Teil seines Sauerstoffgehalts abgibt, erheischt die Reduktion des Eisenoxyduls zu metallischem Eisen eine Temperatur von mindestens 700° C. und kräftiger reduzierende Einflüsse. Die Tatsache steht im Einklange mit der gröfseren Wärmeentwicklung bei der Bildung von Eisenoxydul als von Eisenoxyd oder Eisenoxyduloxyd durch die gleiche Menge Sauerstoff (Seite 58).

Oxydation des erhitzten Eisens.

In gewöhnlicher Temperatur übt trockener Sauerstoff keinen Einflufs auf das Eisen aus. Eine Einwirkung wird erst bemerkbar, wenn die Temperatur auf etwa 200° C. oder etwas darüber steigt. Das Eisen, sofern es vorher an der Oberfläche metallisch rein war, überzieht sich mit einer zunächst hellgelben Anlauffarbe, hervorgegangen aus der Entstehung eines sehr schwachen Häutchens oxydierten Eisens, und bei fortgesetzter Erwärmung ändert sich diese Farbe, da das Oxydhäutchen immer mehr an Stärke zunimmt, der Reihe nach in dunkelgelb, braun, rot, violett, blau bis grau.

Bei fernerer Steigerung der Temperatur bis zum Glühen unter Luftzutritt bildet sich an der Oberfläche des Eisens eine Lage oxydierten Eisens, allgemein Glühspan, beim schmiedbaren Eisen Hammerschlag oder Walzsinter[1]) genannt, aus Eisenoxyduloxyd mit verschiedenem Sauerstoffgehalte bestehend und leicht von dem Eisen sich ablösend. Der Sauerstoffgehalt des Glühspans hängt vornehmlich von der Zeitdauer der Einwirkung, der Höhe der Temperatur und dem Mafse der Oxydationswirkung ab. So z. B. besafsen verschiedene von mir untersuchte Proben von Walzsinter und Hammerschlag die in der Tabelle auf Seite 297 angegebene Zusammensetzung.

Der mittlere Eisengehalt aller Proben beträgt 73,74 v. H., der an Eisen gebundene Sauerstoffgehalt 25,44 v. H. Das Verhältnis entspricht annähernd der Formel Fe_7O_8. Im übrigen zeigen die Untersuchungen, dafs auch sonstige Bestandteile des Eisens verbrannt werden und in den Glühspan eingehen, und zwar an-

[1]) Hammerschlag ist der beim Schmieden, Walzsinter der beim Walzen des Eisens abfallende Glühspan.

nähernd in dem gleichen Verhältnisse, in welchem sie im Eisen zugegen waren[1]); gänzlich abwesend war Schwefel.

	Fe_2O_3	FeO	MnO	SiO_2	P_2O_5	CuO
Schweifsstahl	47,48	50,77	0,33	1,03	0,04	0,08
Schweifseisen	45,37	53,62	0,07	0,40	0,58	0,01
desgleichen	42,81	56,48	0,11	0,30	0,25	0,04
desgleichen	48,74	50,78	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.
Flufsstahl	51,35	46,74	0,23	0,30	0,04	0,01
Flufseisen	39,48	60,08	0,43	0,00	0,09	0,05
desgleichen	35,97	63,69	0,43	0,00	0,05	0,04
desgleichen	37,41	62,32	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.

Aufser den in den Glühspan übergehenden Körper verbrennt auch Kohlenstoff im Eisen. Die hierdurch bewirkte Abnahme des Kohlenstoffgehalts ist, wenn dieser überhaupt gering war und das Glühen nur auf kurze Zeit beschränkt blieb, unmerklich, zeigt sich aber deutlich bei kohlenstoffreichem Stahl und weifsem Roheisen. Zunächst entsteht eine dünne kohlenstoffärmere Schicht am Umfange des Eisenstücks; sie nimmt mehr und mehr an Stärke zu, je länger die Einwirkung dauert, und das ganze Eisenstück kann nach und nach entkohlt werden[2]).

Während aber der Kohlenstoff austritt, wird auch das Eisen unterhalb der erwähnten Glühspanschicht sauerstoffhaltig. Es schwillt auf und kann schliefslich vollständig verbrannt werden. Deutlich läfst sich dieser Vorgang an Eisenteilen erkennen, welche als ein Bestandteil von Feuerungen Monate und Jahre hindurch der Einwirkung einer Stichflamme, also eines Gemisches von Kohlendioxyd, Wasserdampf und freiem Sauerstoff neben Stickstoff und kleineren Mengen unverbrannter Gase, ausgesetzt gewesen sind und sich dabei in ein Erzeugnis umgewandelt haben, welches B r a n d e i s e n genannt wird. Eine von mir untersuchte Platte eines gufseisernen Stubenofens, welche jahrelang oberhalb der Feuerung gelegen und dabei vollständig — auch auf der Bruchfläche — die rote Farbe des Eisenoxyds angenommen hatte, besafs folgende Zusammensetzung:

Eisen	68,886
Mangan	0,028
Kupfer, Kobalt, Nickel . . .	0,125
Silicium	1,240
Schwefel	0,079
Phosphor	0,269
Arsen	0,056
Graphit	0,960
Sauerstoff	28,899
	100,087.

[1]) Der hohe Kieselsäuregehalt der beiden Stahlproben entstammt jedenfalls zum Teil den Wänden des Wärmofens oder der Flugasche. Der Schweifsstahl enthielt 0,14 v. H., der Flufsstahl 0,31 v. H. Silicium.

[2]) Über die Entkohlung des Eisens durch Glühen in sauerstoffabgebenden festen Körpern, insbesondere Eisenerzen, vergl. den Abschnitt G l ü h f r i s c h e n in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde.

Den Unterschied der Zusammensetzung des frischen und des verbrannten Eisens zeigen folgende von Wüst mitgeteilte Ergebnisse[1]). Die untersuchten Gegenstände waren Glühtöpfe, zur Darstellung schmiedbaren Gufses benutzt, deren erster einem siebenmaligen und deren zweiter einem elfmaligen länger fortgesetzten Glühen in einer Temperatur von 1000—1050° C. unterworfen worden war[2]).

	1. Glühtopf		2. Glühtopf	
	vor dem Glühen	nach dem Glühen	vor dem Glühen	nach dem Glühen
Gesamter Kohlenstoff . . .	3,66	0,10	3,74	0,28
Graphit	2,02	0,02	3,33	0,18
Silicium	1,58	1,70	1,59	1,45
Mangan	0,78	0,68	0,68	0,56
Phosphor	0,27	0,37	0,09	0,06
Schwefel	0,16	0,78	0,09	0,31

Der Umstand, dafs hier auch der Graphit bis auf kleine Mengen verbrannt ist, während die oben erwähnte Stubenofenplatte trotz des weit längeren Glühens noch fast 1 v. H. davon enthielt, findet seine Erklärung in der beim Erhitzen der Glühtöpfe angewendeten weit höheren Temperatur. Die stattgehabte Anreicherung des Schwefelgehalts beim Glühen ist durch den Schwefelgehalt der benutzten mineralischen Kohlen veranlafst.

Häufig zeigt solches Brandeisen, zumal in dickeren Stücken, verschiedene abweichend aussehende Lagen übereinander, welche bei der chemischen Untersuchung nicht allein in dem Sauerstoffgehalte, sondern auch in dem Gehalte an Silicium, Phosphor, Schwefel und bisweilen Mangan Unterschiede wahrnehmen lassen. Eine Saigerung hat während des anhaltenden Glühens stattgefunden; jene Körper sind in Form von Silikaten, Phosphaten und Sulfiden gewandert und finden sich meistens da angehäuft, wo die reichlichste Menge von Eisenoxydul, dessen stark basische Eigenschaft hierbei in Betracht kommt, sich gebildet hatte.

So z. B. fand Platz[3]) in drei Schichten einer gufseisernen Koksofentür, welche an der bei der Benutzung aufsen befindlichen Seite mit einer dicken Glühspanlage bedeckt war:

	Eisen	Mangan	Silicium	Phosphor
In dem gesunden Teile	90,82	0,88	2,57	1,71
In der mittleren verbrannten Schicht . .	81,25	0,77	1,87	1,05
auf den Eisengehalt des gesunden Teils umgerechnet	—	0,86	2,09	1,17
In der Glühspanschicht	60,84	0,78	3,88	2,81
auf den Eisengehalt des gesunden Teils umgerechnet	—	1,16	5,79	4,19

[1]) „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1136.

[2]) Die Zeitdauer des jedesmaligen Glühens bei Darstellung schmiedbaren Gufses beträgt in der Regel eine Woche.

[3]) „Stahl und Eisen" 1885, Seite 472. Die Abhandlung enthält noch fernere, hier nicht mitgeteilte Beispiele.

Eine Bestimmung des Eisenoxydul- und Eisenoxydgehalts in den beiden verbrannten Teilen hat nicht stattgefunden; vermutlich enthielt die mittlere Schicht noch reichliche Mengen metallischen Eisens und daher auch mehr Gesamteisen als die Glühspanschicht.

Deutlicher ist der Einflufs des Eisenoxydulgehalts bei nachstehend mitgeteilten, im Eisenhüttenlaboratorium der Freiberger Bergakademie ausgeführten Untersuchungen erkennbar. Ein schmiedeeiserner Anker eines Zinkröstofens zeigte auf seiner Bruchfläche vier scharf voneinander gesonderte Schichten. Die äufsere Schicht war deutlich rot mit ziemlich grofsblätterigem Gefüge; die zweite Schicht war etwas dunkler gefärbt, körnig von Gefüge; die dritte Schicht blaurot, feinkörnig; eingeschlossen war als vierte Schicht ein seinem Aussehen nach metallischer Kern mit feinkörnigem Gefüge. Die vier Schichten besafsen folgende Zusammensetzung:

	Eisen-oxyd	Eisen-oxydul	Mangan	Phosphor	Silicium	Schwefel
Aufsere Schicht . . .	76,17	23,05	0,33	0,021	0,140	n. best.
Zweite Schicht . . .	28,96	70,60	0,28	0,012	0,047	0,005
Dritte Schicht. . . .	18,53	80,05	0,26	0,355	0,192	0,058
	Eisen					
Kern	98,17		0,38	0,204	0,050	0,025
Auf 100 Teile des ursprünglichen Eisens entfallen demnach						
In der äufseren Schicht	—	—	0,465	0,029	0,194	n. best.
In der zweiten Schicht.	—	—	0,310	0,016	0,065	0,007
In der dritten Schicht.	—	—	0,477	0,468	0,226	0,076
Kern	—	—	0,387	0,204	0,050	0,025

Die dritte Schicht, am reichsten an Eisenoxydul, enthält auch die gröfsten Mengen Phosphor, Silicium und Schwefel. Dafs auch der Kern bereits sauerstoffhaltig geworden war, läfst sich aus dem geringeren Gesamtbetrage der gefundenen Bestandteile schliefsen. Nach dem Gewichtsunterschiede berechnet, ergibt sich ein Sauerstoffgehalt von 1,191 v. H.

Oxydation des geschmolzenen Eisens.

Wollte man reines oder nur in unbedeutender Menge Fremdkörper enthaltendes Eisen der Einwirkung oxydierender Körper (Luft, Verbrennungsgase) preisgeben, so würde Eisenoxydul gelöst werden (Seite 294) und der Überschufs des verbrennenden Eisens als Eisenoxyduloxyd ausscheiden oder sich mit sonstigen anwesenden Körpern, z. B. mit aufgelösten Bestandteilen des Schmelzofens oder Tiegels, zu einer eisenhaltigen Schlacke vereinigen.

Enthält das geschmolzene Metall jedoch Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Phosphor oder andere, unter bestimmten Verhältnissen leichter als Eisen verbrennliche Körper, so werden auch diese durch die Verbrennung beeinflufst und können dadurch das Eisen

selbst vor starker Verbrennung schützen. Als Oxydationsmittel für jene Körper können in solchen Fällen auch Eisenoxyd oder eisenoxydreiche Körper (Eisenerze, eisenoxydhaltige Schlacken, Hammerschlag, Walzsinter) dienen. Setzt man Roheisen solchen Einflüssen aus, so wird es zunächst reiner von Fremdkörpern, und der Vorgang heifst, sofern das Enderzeugnis immer noch Roheisen ist, Feinen; bei fortgesetzter Einwirkung dagegen wird es in schmiedbares Eisen umgewandelt, und man nennt den Vorgang Frischen. Er bildet die Grundlage für die meisten in der Jetztzeit üblichen und in der dritten Abteilung ausführlicher besprochenen Verfahren für Darstellung des schmiedbaren Eisens, sowohl des Schweifs- als des Flufseisens[1]).

Die Reihenfolge, in welcher die verschiedenen Körper unter den genannten Einflüssen verbrannt werden und aus dem flüssigen Eisen austreten, ist jedoch nicht stets gleich. Sie hängt ab von der Verdünnung der Körper in dem als Lösungsmittel dienenden Eisen, also von ihrem Gewichtsverhältnisse zum Eisen, von der herrschenden Temperatur und von der Gegenwart dritter Körper, welche mit den Verbrennungserzeugnissen Verbindungen einzugehen fähig sind.

In je geringerer Menge die Bestandteile im flüssigen Eisen anwesend, je stärker sie durch das Eisen verdünnt sind, desto schwieriger werden sie von den Einflüssen der Verbrennung erreicht, desto langsamer verläuft ihre Ausscheidung. Hieraus erklärt sich, dafs stets auch von dem Eisen selbst ein Teil verbrannt und verschlackt wird, lange bevor die an und für sich leichter verbrennlichen Körper vollständig ausgeschieden sind, und dafs die Verbrennung des Eisens ein um so stärkeres Mafs erreicht, je geringer der Gehalt an jenen Körpern ist. Alles aus Roheisen erzeugte schmiedbare Eisen enthält demzufolge noch Kohlenstoff, da dessen völlige Ausscheidung nur unter gleichzeitiger sehr bedeutender Verbrennung von Eisen zu erreichen sein würde.

Hohe Temperatur steigert das Vereinigungsbestreben der im Eisen auftretenden Körper zum Sauerstoff, aber die des einen im stärkeren Mafse als die des anderen. Wie früher hervorgehoben wurde, wächst in besonders starkem Mafse das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs mit der Temperatur; daher wirft sich die Verbrennung, wenn das Eisen Kohlenstoff, Silicium, Mangan oder sonstige verbrennliche Fremdkörper enthält, um so stärker auf den Kohlenstoffgehalt, und die übrigen Körper bleiben, solange noch unverbrannter Kohlenstoff zugegen ist, um so mehr vor Verbrennung geschützt, je höher die Temperatur des Eisens ist. Während in einer Temperatur, welche die Schmelztemperatur des gewöhnlichen Roheisens nicht erheblich übersteigt, fast der gesamte Silicium- und Mangangehalt des Eisens verbrannt werden kann, ehe überhaupt die Verbrennung des Kohlenstoffs beginnt, wird in höherer Temperatur (Schmelztemperatur des schmiedbaren

[1]) In früherer Zeit nannte man jede Darstellung schmiedbaren Eisens Frischen, gleichviel, ob sie aus Erzen durch Reduktion oder aus Roheisen durch Oxydation erfolgte. Erst im 19. Jahrhundert beschränkte man allmählich die Benennung auf die Verarbeitung des Roheisens zu schmiedbarem Eisen.

Eisens) der Rest des Siliciums und Mangans oft erst verbrannt, nachdem der Kohlenstoff annähernd vollständig entfernt worden ist.

Des Einflusses anwesender dritter Körper auf den Verlauf der Verbrennung ist schon auf Seite 44 gedacht worden. Durch Anwesenheit einer kieselsäurereichen Schlacke wird das Verbrennungsbestreben solcher Bestandteile des Eisens verstärkt, welche basische Verbrennungserzeugnisse bilden (Mangan, Eisen); die Verbrennung des Siliciums und Phosphors dagegen wird durch die Gegenwart basischer Körper befördert, mit denen sich ihre Verbrennungserzeugnisse zu Silikaten oder Phosphaten vereinigen können.

Aus diesem Grunde wird Phosphor bei Anwesenheit einer kieselsäurereichen Schlacke aus dem Eisen überhaupt nicht ausgeschieden; bei Anwesenheit basischer Schlacken erfolgt die Ausscheidung gleichzeitig mit der des Siliciums und vor der Verbrennung des Kohlenstoffs, sofern die Temperatur des Metalls die Schmelztemperatur des Roheisens nicht erheblich übersteigt; in höherer Temperatur dagegen ist sie wegen des geschilderten Verhaltens des Kohlenstoffs erst möglich, nachdem dieser annähernd vollständig verbrannt ist, und durch den Kohlenstoff des Eisens kann sogar in hoher Temperatur aus einer phosphorsäurehaltigen Schlacke Phosphor reduziert und an das Eisen zurückgeführt werden. Die verschiedenen Verfahren zur Abscheidung des Phosphors aus Roheisen beruhen auf diesem seinem Verhalten. Man kann ihn bei Anwesenheit basischer Körper (Eisenoxydul, Manganoxydul, Kalkerde) in niedriger Temperatur schon vor dem Kohlenstoff abscheiden, wobei jedoch unvermeidlich auch der ganze Siliciumgehalt des Eisens verbrannt und ausgeschieden wird; oder man entfernt ihn in hoher Temperatur nach der gröfsten Menge des Kohlenstoffs (Thomasverfahren), wobei das Silicium schon vor dem Phosphor neben dem Kohlenstoffe ausscheidet.

Diese Rolle, welche die Anwesenheit dritter Körper bei der Verbrennung der Bestandteile des Eisens spielt, erklärt es auch, dafs der Kohlenstoff des Eisens in Öfen mit basischer Ausfütterung rascher und vollständiger als in solchen mit kieselsäurereichem Futter verbrennt. In letzteren ist das Verbrennungsbestreben des Eisens, dessen Oxydul als kräftige Base wirkt, durch die Berührung mit dem kieselsäurehaltigen Futter gesteigert; Eisen verbrennt reichlicher, und der Kohlenstoff bleibt stärker geschützt; basische Ofenfutter geben geringere Veranlassung zur Eisenverbrennung, und der Kohlenstoff wird rascher verbrannt.

Körper, deren Oxyde leichter reduzierbar sind als die des Eisens, lassen sich aus diesem nicht durch Oxydation abscheiden, ohne dafs zuvor die gröfste Menge des Eisens verbrannt wird. Hierher gehören Kupfer, Kobalt, Nickel, Antimon, Arsen. Sie begleiten das Eisen, sofern sie einmal von ihm aufgenommen sind, durch alle Verarbeitungsstufen hindurch, und da bei Oxydationsverfahren wegen der stattfindenden Abscheidung anderer Stoffe die Gesamtmenge des Metalls, in dem sie gelöst sind, sich verringert, pflegt der Gehalt jener Bestandteile des Metalls sich

bei jedem neuen Oxydationsschmelzen, dem das Eisen unterworfen wird, zu erhöhen.

Schwefel kann zwar bei ausreichend langer Zeitdauer des Oxydationsverfahren zum Teil zu schwefliger Säure verbrannt und als solche verflüchtigt werden; bei der sehr starken Verdünnung aber, in welcher der Schwefel im Eisen vorzukommen pflegt, ist der Erfolg nur gering. Bei Anwesenheit basischer, insbesondere manganhaltiger, Schlacken kann ein anderer Teil des Schwefelgehalts von diesen im nicht oxydierten Zustande (als Sulfid) aufgenommen werden auf Grund der stärkeren Löslichkeit des Sulfids in der Schlacke als im Eisen; ein letzter Teil des Schwefels aber bleibt bei dem Eisen zurück.

Das Rosten und die Zerstörung des Eisens durch Flüssigkeiten.

Unter Rost im weiteren Sinne versteht man jedes unter Einwirkung irgend einer sauren Flüssigkeit auf metallisches Eisen bei Zutritt der Luft entstandene basische, in Wasser unlösliche Eisensalz; im engeren Sinne bezeichnet man mit dem Ausdrucke Rost jenes braune, allein unter Einwirkung von Luft und Feuchtigkeit entstandene Gebilde des Eisens, welches, anfänglich nur auf der Oberfläche bemerkbar, tiefer und tiefer eindringt, bis schliefslich ein ganzes Eisenstück in Rost umgewandelt ist.

Dieses leichte Rosten des Eisens setzt seiner Verwendung für manche Zwecke Schwierigkeiten entgegen. Schon Plinius bezeichnet den Rost als den Fluch, der auf dem Eisen laste als Vergeltung für die mancherlei Übeltaten, zu denen es sich in den Händen der Räuber und Mörder gebrauchen lasse.

Der Rost besteht im wesentlichen aus Eisenhydroxyd, und hieraus folgt schon, dafs er in vollständig trockener Luft nicht entstehen kann; er enthält aber auch häufig kleine Mengen von Kohlensäure und wenigstens Spuren von Ammoniak. Calvert fand in dem Roste der Röhrenbrücke über den Conway 0,900 v. H. kohlensaures Eisen ($FeCO_3$), in einem anderen 0,617 v. H.

Hieraus läfst sich folgern, dafs die Kohlensäure ebenfalls eine Rolle bei der Rostbildung zu spielen habe. Deutlicher noch zeigt sich dieser Einflufs, wenn man von zwei Eisenstücken das eine der Einwirkung gewöhnlichen, also kohlensäurehaltigen Wassers, das andere der Einwirkung kohlensäurefreien Wassers aussetzt; das erstere überzieht sich rasch mit Rost, das letztere bleibt lange Zeit hindurch geschützt, sofern nicht auch die äufsere, stets kohlensäurehaltige Luft Zutritt hatte. Man macht hiervon Anwendung durch Zusatz von etwas gebranntem Kalk oder einer geringen Menge Alkalien zu Wasser, in welchem Eisengegenstände einige Zeit aufbewahrt werden sollen.

Ist Kohlensäure im Überschufs zugegen, der Zutritt freien Sauerstoffs dagegen abgehalten, so entsteht lösliches Karbonat; sobald aber die Luft zu der Lösung tritt, wird jenes zersetzt, und unlösliches Eisenhydroxyd gebildet — ein Vorgang, der für manche Erzablagerungen die Grundlage bildete.

Bei der gemeinschaftlichen Einwirkung der Kohlensäure und des Wassers auf das Eisen wird durch Zerlegung des Wassers Wasserstoff gebildet, welcher sich mit dem Stickstoffe der Luft zu Ammoniak verbindet. Schon 1683 wies Claude Bourdelin nach, daſs bei der Einwirkung lufthaltigen Wassers auf Eisen Ammoniak entstände[1]). Ist Sauerstoff und Kohlensäure nur in beschränktem Maſse, Wasser im Überschuſs zugegen, so kann wasserhaltiges Eisenoxyduloxyd entstehen. So z. B. fand Muck in dem Siederohre eines Dampfkessels pilzförmige Rostgebilde, welche neben kleineren, aus dem Speisewasser stammenden Mengen von Kalkerde, Kieselsäure und anderen Stoffen

Fe_2O_3	FeO	H_2O	CO_2	
66,84	23,24	2,75	2,32	Hundertteile

enthielten[2]). Die zur Rostbildung erforderliche kohlensäurehaltige Luft war hier durch das Speisewasser in den Kessel geführt worden, aber der Sauerstoffgehalt nicht ausreichend gewesen, ausschlieſslich Eisenhydroxyd zu bilden. Der verhältnismäſsig niedrige Wassergehalt ist vermutlich durch die in dem Kessel herrschende höhere Temperatur bedingt.

Wenn demnach zur Bildung des Rostes im engeren Sinne das Zusammenwirken dreier Körper — des Sauerstoffs, Wassers und der Kohlensäure — erforderlich ist, so kann doch die Kohlensäure durch andere Säuren, ja auch durch Lösungen gewisser Salze (Chloride des Magnesiums und der Alkalien u. a.) ersetzt werden, und der Vorgang bei der Einwirkung solcher säure- oder salzhaltigen Flüssigkeiten bei Luftzutritt auf das Eisen ist dem gewöhnlichen Rosten ganz ähnlich.

In der Nähe von Feuerungsanlagen, in welchen mineralische Kohlen verbrannt werden, kann die hierbei entwickelte schweflige Säure, welche unter Einwirkung des in der freien Luft stets vorhandenen Ozons und salpetrigsauren Ammons alsbald in Schwefelsäure sich umwandelt, die Rostbildung befördern. Auch Schwefelwasserstöff, in der Nähe menschlicher Wohnungen fast stets vorhanden, wird durch salpetrigsaures Ammon, wie Thörner nachwies[3]), zu Schwefelsäure oxydiert, und in dem Roste, welcher unter solchen Verhältnissen entsteht, ist deshalb Schwefelsäure regelmäſsig nachweisbar. Thörner fand in 14 Rostproben, welche von sehr verschiedenartigen Gegenständen entnommen waren, 0,6—9,4 v. H. Schwefelsäure.

Selbst Fette, die man nicht selten als schützenden Überzug für das Eisen gegen das Rosten benutzt, können, statt diese Auf-

---

1) Dinglers polytechn. Journal, Bd. 196, Seite 131.

2) „Stahl und Eisen" 1888, Seite 837. Die Abhandlung enthält Mitteilungen über die vollständige Zusammensetzung und die mutmaſsliche Ursache der eigentümlichen Form der Rostgebilde. Ähnliche Beobachtungen machte Heyn bei Untersuchung der durch Rost zerfressenen Heizschlangen einer Warmwasserheizung (Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten 1900, Seite 38).

3) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 830.

gabe zu erfüllen, umgekehrt die Rostbildung befördern, wenn durch Zersetzung Fettsäuren aus ihnen entstanden[1]).

Die Widerstandsfähigkeit verschiedener Eisensorten gegenüber der Rostbildung sowie der Einwirkung von Säuren überhaupt, ist, wie die Erfahrung lehrt, ziemlich abweichend. Teils spricht die chemische Zusammensetzung des Eisens hierbei mit, teils auch sein Gefüge und seine sonstige äufsere Beschaffenheit. Einzelne mit dem Eisen legierte Körper erschweren das Rosten, andere befördern es. Auch mechanisch eingemengte Körperchen, z. B. Schlacke, können, indem sie galvanische Ströme mit dem Eisen erzeugen, das Rosten befördern; die gleiche Wirkung kann entstehen, wenn beim Erstarren flüssigen Eisens sich abweichend zusammengesetzte Verbindungen nebeneinander ablagern. Auf solche Entstehung galvanischer Ströme hat man wohl nicht mit Unrecht teils das oft abweichende Verhalten scheinbar gleicher Eisensorten, teils die Tatsache zurückgeführt, dafs doch auch an einzelnen Stellen solchen Eisens, welches in kohlensäure- und luftfreiem Wasser aufbewahrt wurde, im Laufe der Zeit mitunter Rostbildung sich zeigte. Durch Versuche Diegels[2]) ist ferner erwiesen worden, dafs, wenn zwei Eisenstücke von übrigens gleicher Zusammensetzung, aber mit verschiedenem Phosphor- oder Nickelgehalte, in Berührung miteinander rostbildenden Einflüssen[3]) unterworfen werden, das phosphor- oder nickelreichere Eisen weniger als das phosphor- oder nickelärmere angegriffen werden. Fällt die Berührung weg, so ist der Unterschied weniger erheblich. Das phosphor- oder nickelreichere Eisen bildet bei der Berührung die Kathode, welche gegenüber der Einwirkung des Sauerstoffs stärker geschützt bleibt.

Auch die Art und Weise, wie die Rostbildung erfolgt, oder die Beschaffenheit der Flüssigkeit, welche das Eisen angreift, können Unterschiede bedingen, so dafs ein in einem Falle widerstandsfähigeres Eisen in einem anderen Falle sich als leicht zugänglich für das Rosten erweist.

Man ist daher nicht imstande, ganz bestimmte Regeln über den Einflufs aller verschiedenen Begleiter des Eisens auf seine Widerstandsfähigkeit gegen das Rosten und gegen den Angriff von Säuren aufzustellen. Mitunter findet man z. B., dafs manganhaltiges Eisen besonders leicht rostet; in anderen Fällen widersteht es besser als manganfreies, und sehr manganreiche Eisenlegierungen können sich durch Widerstandsfähigkeit auszeichnen. Ähnliche Abweichungen zeigen sich in den Einflüssen eines Silicium-, Phosphor- und Kohlenstoffgehalts. Nachteilig wirkt ein hoher Kohlenstoffgehalt in manchen Fällen, wenn er — im grauen Roheisen — als Graphit dem Eisen mechanisch eingelagert ist, indem er das Gefüge des Eisens auflockert und dieses den chemischen Einwirkungen zugänglicher macht; der Graphit selbst aber ist ein vollständig widerstandsfähiger Körper,

---

1) Annales des mines, Reihe 7, Bd. 15, Seite 234.
2) „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 634, 637.
3) Bei Diegels Versuchen diente Seewasser zur Anstellung von Vergleichen,

und daher findet man anderseits Eisensorten, welche trotz hohen Graphitgehalts dem Rosten ziemlich gut widerstehen, sofern der Graphit in nicht allzu groben Blättern sich eingelagert findet.

Schwefel wirkt in allen Fällen nachteilig; schwefelhaltiges Eisen verliert schon unter Einwirkung fliefsenden Wassers im Laufe der Zeit einen Teil seines Schwefels. Dieser Vorgang aber ist nur durch Wasserzersetzung möglich, wobei Eisen oxydiert wird.

Versuche des Verfassers, bei welchen verschiedene Eisensorten in gleich grofsen Würfeln und unter gleichen Verhältnissen der Einwirkung sehr verdünnter Schwefelsäure 65 Stunden hindurch ausgesetzt wurden[1]), ergaben folgende Gewichtsverminderung des Eisens in Hundertteilen des ursprünglichen Gewichts:

Spiegeleisen (mit etwa 10 v. H. Mangan, 4,5 v. H. Kohlenstoff) 14,1
Weifses kohlenstoffarmes Roheisen mit etwa 3,5 v. H. Kohlenstoff, 0,7 v. H. Phosphor, übrigens rein 19,7
Dunkelgraues Koksroheisen mit etwa 2,5 v. H. Silicium, 1,5 v. H. Mangan, 3,5 v. H. Graphit, 0,8 v. H. Phosphor 27,6
Graues Holzkohlenroheisen mit etwa 1,8 v. H. Silicium, 1 v. H. Mangan, 3,5 v. H. Kohle, 0,6 v. H. Phosphor . . 37,7
Englischer Werkzeugstahl mit etwa 1 v. H. Kohle, übrigens rein 66,5
Weiches Schweifseisen mit etwa 0,1 v. H. Kohle 88,6

Hier erwies sich das mangan- und kohlenstoffreichste Eisen am widerstandsfähigsten, und mit der Abnahme des Gehalts an Fremdkörpern verringerte sich ziemlich gleichmäfsig die Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff der Säure.

Umfassendere Versuche wurden durch Gruner angestellt[2]). Er stellte aus den zu untersuchenden Eisensorten quadratische Platten von 10 cm Seitenlänge dar, deren Oberfläche poliert wurde, worauf man sie verschiedenen Einwirkungen unterwarf, um schliefslich den eingetretenen Gewichtsverlust zu ermitteln. Aus den erlangten Ergebnissen mögen nachstehende hier Ewähnung finden.

(Siehe die Tabelle auf Seite 306.)

In süfsem Wasser ergaben sich ähnliche Verhältniszahlen als im Meerwasser; aber der gesamte Gewichtsverlust war bedeutend niedriger.

Auch bei diesen Versuchen erweist sich das an Mangan und zweifellos auch an Kohlenstoff reiche Spiegeleisen am widerstandsfähigsten gegen feuchte Luft und säurehaltiges Wasser, seltsamerweise aber wenig widerstandsfähig gegen Meerwasser; der manganreichere Stahl dagegen ist durchschnittlich weniger widerstandsfähig als die sieben manganärmeren Stahlproben. Letztere widerstehen dem Angriffe des Meerwassers und des säurehaltigen Wassers besser als alle übrigen Eisensorten, werden aber durch feuchte Luft stärker als diese angegriffen.

Ein ebenfalls von Gruner angestellter Vergleich von chromhaltigem Stahl mit chromfreiem ergab, dafs ersterer in feuchter Luft und in Säuren leichter als letzterer angegriffen werde.

[1]) Berg- und hüttenm. Zeitung 1877, Seite 280.
[2]) Annales des mines, Reihe 8, Bd. 3, Seite 5 (vergl. Literatur).

	Gewichtsverlust		
	In feuchter Luft während 20 Tagen	In Meerwasser während 9 Tagen	In säurehaltigem Wasser während 10 Tagen
7 verschiedene Tiegelstahlproben mit 0,16—1,56 v. H. Kohlenstoff, 0,12—0,16 v. H. Mangan, 0,09—0,32 Silicium.	4,0—4,8 g; am geringsten beim kohlenstoffärmsten; übrigens unregelmäfsig	1,1—2,8 g; am geringsten bei 0,6 v. H. Kohle	0,6—1,8 g; am geringsten bei 0,46 v. H. Kohle; am stärksten bei 0,16 und 1,36 v. H. Kohle
Mangan- und siliciumreicher Stahl mit 0,59 v. H. Kohlenstoff, 1,36 v. H. Mangan, 0,93 v. H. Silicium;			
a) nicht gehärtet	3,8 g	3,0 g	2,0 g
b) gehärtet	4,8 „	2,8 „	5,3 „
Grobkörniges tiefgraues Roheisen mit 3,4 v. H. Mangan, 1—2 v. H. Silicium, wenig Phosphor und Schwefel . . .	4,1 „	3,5 „	9,3 „
Holzkohlengufseisen, zu Geschützgufs benutzt, dann im Tiegel umgeschmolzen (jedenfalls graphitarm und feinkörnig)	3,3 „	3,1 „	3,0 „
Geschirrgufs, reich an Phosphor, im Tiegel umgeschmolzen . .	2,9 „	5,0 „	5,8 „
Spiegeleisen mit etwa 20 v. H. Mangan	1,9 „	7,0 „	1,0 „

Ein Nickelgehalt des Flufseisens erschwert den vorliegenden Versuchen gemäfs das Rosten. Howe[1]) fand nachstehende Verhältniszahlen der stattfindenden Abnutzung, als er Schweifseisen, nickelfreies Flufseisen und nickelhaltiges Flufseisen (Nickelstahl) der Einwirkung von Seewasser, süfsem Wasser und der Luft aussetzte:

	Im Seewasser	Im süfsen Wasser	In der Luft	Im Mittel
Bei Schweifseisen	100	100	100	100
„ nickelfreiem Flufseisen	114	94	103	103
„ Nickelstahl mit 3 v. H. Nickel . . .	83	80	67	77
„ Nickelstahl mit 26 v. H. Nickel . .	32	32	30	31

Auch bei den schon erwähnten Versuchen Diegels ergab sich, dafs ein Nickelgehalt des Eisens den Angriff des Seewassers erheblich abzuschwächen vermag.

[1]) Engineering and Mining Journal, Bd. 70 (1900), Seite 188.

Von Wichtigkeit ist bei der Verwendung schmiedbaren Eisens mitunter die Beantwortung der Frage, ob Flufseisen oder Schweifseisen dem Rosten stärker unterworfen sei, und seitdem man angefangen hat, ersteres in umfangreicherem Mafse zum Schiffsbau, für Anfertigung von Dampfkesseln und sonstigen, dem Angriffe des Wassers und der Luft ausgesetzten Gegenständen zu benutzen, ist man bemüht gewesen, durch vergleichende Versuche Aufschlufs hierüber zu erlangen. Die vorstehend mitgeteilten Versuchsergebnisse Howes lassen keinen erheblichen Unterschied in der Widerstandsfähigkeit des Schweifseisens und nickelfreien Flufseisens wahrnehmen. Umfassendere Versuche wurden schon im Jahre 1880 auf Veranlassung der englischen Gesellschaft Lloyds durch W. Parker mit zahlreichen Schweifs- und Flufseisenblechen angestellt[1]). Die Bleche wurden teils 437 Tage im Hafen zu Brighton im Meerwasser versenkt gehalten, teils 240 Tage unter dem Boden des Maschinenraumes eines Ozeandampfers der Einwirkung der dort vorhandenen feuchten Luft unterworfen, teils 455 Tage lang auf einem Dache der Londoner City den Einflüssen der Atmosphärilien preisgegeben. Drei fernere Reihen derselben Bleche wurden zwischen den Röhren des Wasserraums von Marinedampfkesseln so aufgehängt, dafs sie mindestens 30 cm unter der Wasserlinie blieben, und zwar befanden sich die Bleche einer dieser Reihe

Eisensorten	Durchschnittliche Zusammensetzung der Eisensorten							Durchschnittlicher Gewichtsverlust in Pfunden durch Rost im Jahre auf 1 engl. Quadratfufs					
	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer	Mangan	Kobalt, Nickel	Im Meerwasser	Im Maschinenraume	In Londoner Luft	Im Dampfkessel des Ostindienfahrers	Im Dampfkessel des Chinadampfers	Im Dampfkessel des Küstenfahrers
2 Sorten gewöhnliches Puddeleisen	0,10	0,06	0,25	0,08	0,04	0,01	0,07	0,168	0,485	0,158	0,060	0,199	0,525
5 Sorten bestes Puddeleisen	0,11	0,11	0,11	0,01	0,02	0,01	0,01	0,195	0,526	0,166	0,067	0,194	0,638
4 Sorten weiches Flufseisen	0,15	0,02	0,06	0,06	Sp.	0,50	—	0,207	0,523	0,224	0,129	0,252	0,736

solcherart 361 Tage im Kessel eines Ostindienfahrers, in welchen zum Erschweren des Rostens Zink eingelegt wurde, und welcher nur selten entleert wurde; die Bleche einer zweiten Reihe hingen in gleicher Weise 264 Tage hindurch im Kessel eines Chinadampfers, der, ohne Benutzung von Zink, an jeder Endstation abgeblasen und frisch mit Meerwasser gefüllt wurde; die letzte Reihe Bleche endlich reiste 336 Tage hindurch im Kessel eines Küstendampfers, der sein Speisewasser aus einem Teile des Flusses Tyne erhielt, welcher durch die Abflufswässer einer grofsen chemischen Fabrik

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1881, Seite 39.

stark verunreinigt und stark angesäuert war. Die Kessel wurden in jeder zehnten Woche abgeblasen und blieben stets vier Tage während fünfen unter Dampf.

Die spätere Untersuchung der Bleche ergab die in obiger Tabelle mitgeteilten Durchschnittsziffern für den Verlust durch Rost.

Das Flufseisen ist hier in fast allen Fällen etwas stärker angegriffen als das Schweifseisen (Puddeleisen), wobei vermutlich sein höherer Schwefelgehalt von Einflufs war; aber die Unterschiede sind auch hier nicht beträchtlich genug, um etwa ein allgemein gültiges Urteil zu Ungunsten des Flufseisens zu rechtfertigen.

Ähnliche Versuche wurden in den Jahren 1882—1894 durch die Firma Fr. Krupp in Essen ausgeführt[1]). Man benutzte Flufseisenbleche mit einem Gehalte (in Hundertteilen) an

Kohlenstoff	Mangan	Phosphor	Schwefel
0,06—0,38	0,15—0,65	0,09—0,18	0,04—0,06

und Schweifseisenbleche mit einem Gehalte von

Kohlenstoff	Mangan	Phosphor	Schwefel
0,06—0,09	0,15	0,10—0,18	0,008—0,015

und setzte die Proben, welche gleiche Abmessungen besafsen, der Einwirkung der gewöhnlichen Luft, warmer feuchter Luft, warmen Kesselspeisewassers, des in einem Dampfkessel befindlichen Wassers und künstlichen Seewassers unter Luftzutritt aus. Beim Rosten in gewöhnlicher Luft, in warmem Speisewasser und in Kesselwasser blieben die Gewichtsverluste beider Eisengattungen ziemlich gleich; in warmer feuchter Luft und in Seewasser hatte das Schweifseisen etwas stärker als das Flufseisen gerostet.

Als erheblich widerstandsfähiger erwies sich Flufseisen bei einem auf Veranlassung des Verfassers angestellten Versuche, als die Frage vorlag, ob für eine anzulegende Aufschlagwasserleitung aus Eisenblech Flufseisen oder Schweifseisen zu wählen sei. Gleich grofse Proben der zur Wahl gestellten Bleche wurden 42 Stunden lang der Einwirkung sowohl ganz verdünnter Schwefel- als Salzsäure preisgegeben. Der Gewichtsverlust nach der angegebenen Zeit betrug:

	in Schwefelsäure	in Salzsäure
beim Flufseisen	0,332 v. H.	0,188 v. H.
beim Schweifseisen . .	0,998 „ „	0,462 „ „

also beim Schweifseisen etwa das Dreifache als beim Flufseisen.

Man darf aus allen diesen Versuchsergebnissen folgern, dafs ein unbedingtes Urteil über die Widerstandsfähigkeit beider Eisengattungen nicht möglich ist. Ein gleichartiges, gut durchgearbeitetes und insbesondere schlackenarmes Schweifseisen wird sich günstiger verhalten als ein schwefelreiches, aus stark gesaigerten und mit Hohlräumen durchsetzten Blöcken gewalztes Flufseisen[2]); umgekehrt

---

[1]) Ausführlicher Bericht in „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 561.

[2]) Über die Saigerung und die Entstehung von Hohlräumen in Flufseisenblöcken vergl. Abteilung 3 der Eisenhüttenkunde.

wird Flufseisen sich als widerstandsfähiger erweisen, wenn es arm an Schwefel und aus dichten Blöcken gewalzt, das Schweifseisen dagegen ungenügend durchgearbeitet und noch reich an eingemengter Schlacke ist.

Dafs eine Berührung des Eisens durch Zink, welches hierbei zum elektropositiven Pole wird und bei der Wasserzersetzung sich mit dem Sauerstoffgehalte des Wassers vereinigt, das Eisen vor dem Rosten zu schützen vermag, ist bekannt, und man macht nicht selten hiervon Anwendung. Umgekehrt wird die Neigung des Eisens zum Rosten verstärkt, wenn es mit Metallen in Berührung sich befindet, welche, wie Kupfer, Zinn, Blei, hierbei negativ elektrisch werden. Während daher ein mit Zink überzogenes Eisenstück auch dann noch dem Rosten verhältnismäfsig wenig unterworfen ist, wenn an einzelnen Stellen Beschädigungen des Überzuges eingetreten sind, schützt ein Zinnüberzug (z. B. bei Weifsblechen) nur so lange, als er vollständig dicht ist; wird er beschädigt, so tritt verstärktes Rosten ein.

Die Reduktion der Eisenoxyde durch Kohle und Kohlenoxyd.

Eisenoxyde bilden in allen Fällen den Rohstoff, aus welchem das metallische Eisen dargestellt wird, und als Mittel für ihre Zerlegung dienen vornehmlich Kohlenstoff im festen Zustande und gasförmiges Kohlenoxyd.

Da das Kohlenoxyd erst aus einer unvollständigen Verbrennung des Kohlenstoffs hervorgegangen ist, dieser also in jedem Falle den ursprünglich benutzten Stoff bildet, hat man bisweilen die Abscheidung des Eisens durch Kohlenstoff direkte oder unmittelbare, die Abscheidung durch Kohlenoxyd indirekte oder mittelbare Reduktion genannt. Die Ausdrücke bedürfen offenbar, um verstanden zu werden, einer besonderen Erläuterung und sind deshalb nicht gut gewählt.

Eisenoxyde mit höherem Sauerstoffgehalte, insbesondere das Eisenoxyd Fe_2O_3, geben bei der Berührung mit Kohlenoxyd schon in ziemlich niedriger Temperatur einen Teil ihres Sauerstoffgehalts ab, um in niedrigere Oxydationsstufen sich umzuwandeln. Nach L. Bell verlieren geröstete Clevelanderze schon bei 200° C. oder wenig darüber einen geringen Teil ihres Sauerstoffgehalts, aber die Einwirkung ist sehr schwach, und in einer Temperatur von 227° C. wurde dem Erze innerhalb einer Stunde nur etwa $^1/_{400}$ des an Eisen gebundenen Sauerstoffs entzogen[1]).

Mit der Temperatur steigt die reduzierende Kraft der einwirkenden Körper, und umgekehrt mufs die Temperatur um so höher sein, je sauerstoffärmer der Rückstand sein soll. Nach Versuchen von Åkerman[2]), deren Ergebnisse später durch Wiborgh[3])

---

[1]) L. Bell, Principles of the Manufacture of Iron and Steel, London 1884, Seite 191. J. L. Bell, Über die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen. Deutsch von P. Tunner. Leipzig 1870, Seite 106. Vergl. auch Schinz: Dokumente, betreffend den Hochofen, Berlin 1868, Seite 74.

[2]) Jernkontorets Annaler 1882; daraus in „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 149.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 804 und 858.

Bestätigung fanden, kann Eisenoxyd Fe_2O_3 unter dem Einflusse von Kohlenoxyd schon bei 400—450° C. zu Eisenoxyduloxyd Fe_3O_4 reduziert werden, und Wiborgh fand, dafs in derselben Temperatur unter ausreichend langer Einwirkung des Kohlenoxyds auf leicht reduzierbare Erze sogar eine noch sauerstoffärmere Oxydationsstufe von der Zusammensetzung Fe_6O_7 entstehen könne. Zur Bildung von Eisenoxydul FeO ist in jedem Falle eine höhere Temperatur erforderlich; metallisches Eisen entsteht nach Åkermans Versuchen und früheren Beobachtungen Tunners[1]) erst bei mindestens 900° C., während Wiborgh beobachtete, dafs aus leicht reduzierbaren Erzen schon bei 700° C. metallisches Eisen entstehen und neben der Verbindung Fe_6O_7 auftreten könne[2]).

Sieht man von diesen an und für sich nicht sehr erheblichen Unterschieden der Beobachtungsergebnisse ab, so ergibt sich als Tatsache, dafs für die Reduktion der Eisenoxyde zu metallischem Eisen, sofern sie nicht übermäfsig langsam verlaufen soll, immerhin eine Temperatur erforderlich ist, welche man im Mittel zu 800° C. annehmen kann, und dafs die Bildung des metallischen Eisens befördert wird, wenn die Temperatur über jenes Mafs hinaus steigt. Dient nun Kohlenoxyd als Reduktionsmittel, so entsteht durch dessen Verbrennung Kohlendioxyd (Kohlensäure), welches nach Früherem (Seite 42) auf metallisches Eisen oxydierend einwirkt, sofern es nicht durch einen entsprechenden Überschufs des Reduktionsmittels verdünnt ist. Die erforderliche Menge dieses Überschusses steigt mit der Temperatur, in welcher die Reduktion von statten geht, da auch die Oxydationskraft des Kohlendioxyds mit der Temperatur wächst. In jener zur Abscheidung metallischen Eisens erforderlichen Temperatur müssen nach Åkermans erwähnten Versuchen in dem entstehenden Gasgemenge neben einem Raumteil (Molekül) Kohlendioxyd mindestens noch zwei Raumteile Kohlenoxyd anwesend sein, damit metallisches Eisen erfolgen kann, so dafs die Gleichung

$$FeO + 3CO = Fe + CO_2 + 2CO$$

diese Beziehung ausdrückt.

Bildet dagegen Kohlenstoff das Reduktionsmittel, so ist, sofern die Zerlegung nach der Formel

$$FeO + C = Fe + CO$$

von statten geht, ein Überschufs des Reduktionsmittels nicht an und für sich erforderlich, da das erfolgende Kohlenoxyd nicht oxydierend auf metallisches Eisen einzuwirken vermag. Die geschilderten Beziehungen führen aber auch zu dem Schlusse, dafs bei der Benutzung von Kohlenstoff als Reduktionsmittel der Vorgang überhaupt nur in der durch die Gleichung angedeuteten Weise verlaufen, d. h. dafs als Verbrennungserzeugnis der Kohle nur Kohlenoxyd, nicht Kohlendioxyd, entstehen kann, weil dieses in der Reduktionstemperatur des Eisens ein zweites Atom Kohlenstoff verbrennen, also wiederum Kohlenoxyd bilden würde.

---

[1]) Jahrbuch der k. k. österreichischen Bergakademien, Bd. 9, Seite 309.

[2]) Nach Boudouard ist 685° C. die niedrigste Temperatur, bei welcher metallisches Eisen entstehen kann („Stahl und Eisen" 1903, Seite 557).

Jener bei Benutzung von Kohlenoxyd als Reduktionsmittel für Eisenoxyde unentbehrliche Überschuſs des Reduktionsmittels bildet unleugbar einen Nachteil; faſst man jedoch den gesamten zur Reduktion erforderlichen Wärmeverbrauch ins Auge, so zeigt sich, daſs die Reduktion durch Kohlenstoff einen erheblich gröſseren Wärmeverbrauch erheischt als die Reduktion durch Kohlenoxyd, und daſs aus diesem Grunde das letztere Verfahren trotz jenes Nachteils häufig das wirtschaftlich vorteilhaftere ist.

Die Erklärung dieser Tatsache findet man bei der Erwägung, daſs bei der Verbrennung von Kohlenstoff zu Kohlenoxyd ($FeO + C = CO$) jedes Kilogramm Sauerstoff nur 1850 W.-E., bei der Verbrennung von Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd dagegen ($FeO + CO = CO_2$) 4200 W.-E. entwickelt[1]). Übersichtlicher lassen nachstehende Ziffern die Wärmeverhältnisse bei beiden Vorgängen erkennen.

a) Reduktion durch Kohlenstoff nach der Gleichung
$FeO + C = Fe + CO$.

Den Atomgewichten der hierbei in Beziehung tretenden Körper gemäſs erhält man folgende Gewichtsverhältnisse, wobei das Kilogramm als Gewichtseinheit angenommen worden ist:

(56 kg Eisen + 16 kg Sauerstoff) + 12 kg Kohle = 56 kg Eisen + 28 kg Kohlenoxyd.

Bezieht man den Vorgang auf 1 (statt 12) kg Kohle, so erhält man ($^{14}/_3$ kg Eisen + $^4/_3$ kg Sauerstoff) + 1 kg Kohle = $^{14}/_3$ kg Eisen + $^7/_3$ kg Kohlenoxyd.

Da nun der Wärmeverbrauch zur Zerlegung einer chemischen Verbindung ebenso groſs ist als der Wärmegewinn bei ihrer Entstehung, 1 kg Eisen aber bei der Verbrennung zu Eisenoxydul 1350 W.-E. entwickelt (Seite 57), ist das Verhältnis zwischen verbrauchter und gewonnener Wärme bei diesem Vorgange folgendes:

$^{14}/_3$ kg Eisen erheischen, um aus dem Eisenoxydul reduziert zu werden, einen Wärmeverbrauch $= {}^{14}/_3 \times 1350$	6300 W.-E.
1 kg Kohle liefert bei der Verbrennung zu $^7/_3$ kg Kohlenoxyd einen Wärmegewinn = ...	2470 „
also erforderlicher Reinverbrauch an Wärme	3830 W.-E.

Man kann die Rechnung in derselben Weise auch auf 1 kg des dem Eisen entzogenen Sauerstoffs oder auch auf 1 kg reduzierten Eisens beziehen und erhält alsdann:

Reiner Wärmeverbrauch bei der Reduktion des Eisenoxyduls durch Kohle

für 1 kg entzogenen Sauerstoffs	2872 W.-E.
„ 1 „ reduzierten Eisens	821 „

[1]) Die Ziffern ergeben sich leicht aus den auf Seite 56 mitgeteilten Ziffern der Wärmeentwicklung bei Verbrennung des Kohlenstoffs und Kohlenoxyds.

b) Reduktion durch Kohlenoxyd nach der Gleichung
$FeO + CO = Fe + CO_2$.

Die Gewichtsverhältnisse sind hierbei folgende:

(56 kg Eisen + 16 kg Sauerstoff) + 28 kg Kohlenoxyd = 56 kg Eisen + 44 kg Kohlendioxyd [1]).

Auf 1 kg des im reduzierenden Kohlenoxyd enthaltenen Kohlenstoffs bezogen:

($^{14}/_3$ kg Eisen + $^4/_3$ kg Sauerstoff) + $^7/_3$ kg Kohlenoxyd = $^{14}/_3$ kg Eisen + $^{11}/_3$ kg Kohlendioxyd.

Demnach beträgt das Verhältnis zwischen verbrauchter und gewonnener Wärme:

$^{14}/_3$ kg Eisen erheischen einen Wärmeverbrauch (wie oben)	6300 W.-E.
$^7/_3$ kg Kohlenoxyd liefern bei ihrer Verbrenung einen Wärmegewinn = $^7/_3 \times 2400$	5600 „
also erforderlicher reiner Wärmeverbrauch . . .	700 W.-E.

Durch eine Umrechnung erhält man den reinen Wärmeverbrauch bezogen auf die Gewichtseinheit des entzogenen Sauerstoffs oder reduzierten Eisens:

für 1 kg entzogenen Sauerstoffs . , ...	525 W.-E.
„ 1 „ reduzierten Eisens	150 „

Für jedes Kilogramm Sauerstoff, welches dem Eisenoxydul entzogen wird, gebraucht man demnach bei der Reduktion durch Kohle in runder Ziffer 2350 W.-E. mehr als bei der Reduktion durch Kohlenoxyd. Der Unterschied besitzt besondere Bedeutung beim reduzierenden Schmelzen im Hochofen, wie in der zweiten Abteilung ausführlichere Erörterung finden wird.

Ähnliche Unterschiede ergeben sich, wenn man den Wärmeverbrauch zur Zerlegung höherer Oxydationsstufen des Eisens durch Kohle einerseits und durch Kohlenoxyd anderseits berechnet. Stets kommt der Umstand in Betracht, daſs die gleiche Menge Sauerstoff bei der Verbrennung von Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd eine gröſsere Wärmemenge entwickelt als bei der Verbrennung von Kohle zu Kohlenoxyd, und bei jedem derartigen Vergleiche wird dieser Unterschied erkennbar.

Kohlenstoffausscheidung aus Kohlenoxyd auf Eisenoxyden.

Eine eigentümtliche Erscheinung zeigt sich, wenn Kohlenoxyd in niedrigeren Temperaturen, als zur Reduktion metallischen Eisens aus Eisenoxyden erforderlich ist — vorwiegend in den Temperaturen zwischen 300 und 400° C. — auf Eisenoxyd (Erze oder künstlich dargestellte Oxyde) einwirkt. Das Kohlenoxyd zerfällt unter

---

[1]) Der als Schutz gegen die Oxydationswirkung des entstehenden Kohlendioxyds erforderliche Überschuſs von Kohlenoxyd spielt für die Wärmeentwicklung keine Rolle und ist deshalb hier auſser Betracht gelassen.

Abscheidung von Kohlenstoff, welcher sich als schwarzes Pulver ablagert:

$$2\,CO = C + CO_2.$$

Es vollzieht sich also hier der umgekehrte Vorgang, als wenn Kohlendioxyd in höherer Temperatur mit Kohlenstoff in Berührung tritt und dabei in Kohlenoxyd sich umwandelt:

$$CO_2 + C = 2\,CO \text{ (Seite 49).}$$

Auch die Berührung mit anderen Körpern als Eisenoxyden, z. B. mit Rufs, in der genannten Temperatur kann nach Ermittelungen von Sainte-Claire-Deville, Bell u. a. ein Zerfallen des Kohlenoxyds unter Ablagerung von Kohlenstoff veranlassen [1]). Je gröfser die von diesen Körpern dargebotene Oberfläche ist, desto mehr wird die Kohlenstoffabscheidung befördert; sie erlahmt um so mehr, je mehr die Temperatur sich derjenigen nähert, bei welcher die Einwirkung des Kohlendioxyds auf Kohlenstoff beginnt.

Werden Erze in Stücken der Berührung mit Kohlenoxyd in jener Temperatur (300—400° C.) ausgesetzt, so schwellen sie auf, bersten, und zerfallen zu Pulver, welches mit dem abgelagerten Kohlenstoffe gemischt bleibt; die Kohlenstoffablagerung dauert ununterbrochen fort, solange frisches Kohlenoxyd zugeleitet wird, und nimmt mit der Zeit an Geschwindigkeit zu, da mit der Menge der bereits abgelagerten Kohle die dem Kohlenoxyd dargebotene Oberfläche sich vergröfsert. Auf einem Stück Roteisenerz, welches von mir in dieser Weise behandelt wurde, hatte sich in einem Zeitraume von 41 Stunden die fünffache Menge des Erzgewichts an Kohlenstoff abgelagert [2]). Wägungen, welche innerhalb bestimmter Zeiträume angestellt wurden, ergaben u. a., dafs die Ablagerung in einer Stunde betrug:

in den ersten 6 Stunden wegen allzu niedriger Temperatur	0,0 v. H. des Erzgewichts
in der 6.—11. Stunde durchschnittlich	1,6 „ „ „ „
„ „ 11.—16. „ „	3,2 „ „ „ „
„ „ 16.—20. „ „ . . . . . . , . .	4,2 „ „ „ „
„ „ 20.—24. „ „	4,5 „ „ „ „
„ „ 24.—28. „ „	7,2 „ „ „ „
„ „ 28.—35. „ „	11,6 „ „ „ „
„ „ 35.—41. „ „	55,6 „ „ „ „

Verschiedene Forscher (Deville, Schützenberger u. a.) haben gefunden, dafs auch metallisches oxydfreies Eisen befähigt sei, jenes Zerfallen des Kohlenoxyds zu veranlassen. Falls die von Guntz und Särnström gemachte Beobachtung [3]) sich bestätigt, dafs Kohlenoxyd, dieses kräftige Reduktionsmittel für Eisenoxydul in Temperaturen über 700° C., Eisen in weniger hoher Temperatur (400—500° C.) zu oxydieren vermöge ($CO + Fe = FeO + C$), so würde dieser Vorgang den ersten Anstofs für die weitere Kohlenstoffablagerung geben können.

---

[1]) Ausführlichere Mitteilungen über die verschiedenen diesen Vorgang betreffenden Untersuchungen enthält v. Jüptner, Grundzüge der Siderologie, 3. Teil, Seite 35.

[2]) Berg- und hüttenm. Zeitung 1877, Seite 278.

[3]) Zeitschr. für angewandte Chemie 1893, Seite 729.

Für den Betrieb ist jenes Zerfallen des Kohlenoxyds nicht ohne Bedeutung. In Eisenhochöfen findet man mitunter an Stellen, wo sich Gelegenheit für eine ruhige, länger ausgedehnte Einwirkung von kohlenoxydhaltenden Gasen auf Eisenoxyd geboten hatte, Kohlenstoffablagerungen, in denen nur kleine Mengen Eisen sich finden, ein fernerer Beweis dafür, dafs der Vorgang, sobald er einmal angefangen hat, so lange fortdauert, als überhaupt Kohlenoxyd in der betreffenden Temperatur über die Stelle hinwegstreicht, wo die Ablagerung einmal begonnen hat. Eine solche von mir untersuchte Kohlenstoffablagerung aus einem Hochofen enthielt nicht mehr als 2,99 v. H. Eisen. Werden eisenoxydhaltige feuerfeste Ziegel zum Baue des Hochofens benutzt, so kann es geschehen, dafs diese reichlich von abgelagerter Kohle durchsetzt werden, dadurch ihren Zusammenhang verlieren und schliefslich zerfallen. Das Hochofengemäuer kann dadurch schon nach kurzer Zeit der Zerstörung preisgegeben werden[1]).

4. Eisen und Kohlenstoff.

Aufnahme des Kohlenstoffs durch Eisen.

Das Eisen besitzt ein starkes Bestreben, sich mit Kohlenstoff zu vereinigen. Es ist nicht möglich, Eisen durch Kohle oder kohlenstoffhaltige Gase aus seinen Erzen abzuscheiden, ohne dafs wenigstens kleine Mengen Kohle dabei von dem Eisen aufgenommen werden, und alles Handelseisen ist deshalb kohlenstoffhaltig, obgleich mitunter die Menge des Kohlenstoffgehalts im schmiedbaren Eisen noch nicht 0,1 v. H. erreicht.

Schon bei der Erhitzung des Eisens mit Kohle oder kohlehaltigen festen Körpern bis zur Rotglut geht Kohlenstoff an das Eisen über, sofern der Kohlenstoffgehalt des letzteren ein von der herrschenden Temperatur abhängiges Mafs noch nicht erreicht hatte. Von der Berührungsstelle aus verteilt sich in diesem Falle der aufgenommene Kohlenstoff annähernd gleichmäfsig durch das ganze Eisenstück hindurch, indem das kohlenstoffreichere Molekül seinen überschüssigen Kohlenstoff an das benachbarte kohlenstoffärmere abgibt. Auf diesem Vorgange beruht die in der dritten Abteilung ausführlicher besprochene Darstellung des Zementstahls. Dafs in der Tat eine Wanderung des Kohlenstoffs stattfindet, läfst sich besonders deutlich beobachten, wenn man zwei Eisenstücke mit verschiedenem Kohlenstoffgehalte in Berührung mit einander glüht. Das kohlenstoffreichere wird kohlenstoffärmer, das kohlenstoffärmere reicher. Bei einem derartigen Versuche Roystons[2]) wurde ein Stahlstab mit 0,95 v. H. Kohlenstoff zwischen zwei Eisenstäbe mit 0,15 v. H. Kohlenstoff gelegt und in einem Porzellanrohre 12 Stunden lang auf 900° C. erhitzt; der Kohlenstoffgehalt des Stahls hatte sich nach dem Glühen auf 0,43 v. H. verringert, der-

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 168.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 629 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1897, I).

jenige der Eisenstäbe auf 0,29 v. H. erhöht, und der stattgehabten Gewichtsverringerung des Stahls entsprach genau die Gewichtszunahme des Eisens. Ähnliche Ergebnisse sind auch von anderen Forschern erlangt[1]).

Manchen Kohlenwasserstoffen, inbesondere den kohlenstoffreicheren, entzieht Eisen, wenn es im glühenden Zustande mit ihnen in Berührung tritt, einen Teil ihres Kohlenstoffgehalts. Leuchtgas, Petroleumdampf und andere kohlenwasserstoffreichere Gasgemische geben an kohlenstoffarmes Eisen in Rotglut Kohlenstoff ab[2]). Ebenso verhalten sich Cyangas und verschiedene Cyanide (Cyankalium, Cyannatrium u. a.). Blutlaugensalz (Kaliumeisencyanid) wird im Kleinbetriebe nicht selten benutzt, um durch Glühen mit Eisen dessen Kohlenstoffgehalt anzureichern[3]).

Die niedrigste Temperatur, bei welcher eine Aufnahme von Kohlenstoff durch Eisen stattfinden kann, liegt nach den übereinstimmenden Ergebnissen verschiedener Forscher bei etwa 700° C. oder etwas darüber, und mit der Temperatur wächst die Fähigkeit des Eisens für die Aufnahme von Kohlenstoff.

Kohlenoxyd vermag höchstens dann Kohlenstoff an das Eisen abzugeben, wenn es in sehr reichlichem Überschusse zugegen ist. Eine Kohlung des Eisens durch Kohlenoxyd würde nur unter Bildung von Kohlendioxyd möglich sein ($2\,CO = C + CO_2$); die Temperatur aber, bei welcher das Eisen Kohlenstoff aufnimmt, liegt bereits über jener, in welcher die entgegengesetzte Einwirkung des Kohlendioxyds auf Kohle beginnt. Auch bei mehrstündigem Glühen von Eisen im Kohlenoxydgasstrome findet keine deutliche oder wenigstens keine erhebliche Anreicherung des Kohlenstoffgehalts statt[4]).

Dafs dagegen vom Eisen, auf welchem in niedrigeren Temperaturen aus Kohlenoxyd Kohlenstoff abgelagert worden war, ohne zunächst mit dem Eisen selbst sich zu vereinigen, dieser Kohlenstoff bei nachfolgendem stärkerem Erhitzen aufgenommen werden kann, ist nicht zu bezweifeln.

---

[1]) Z. B. von R. Mannesmann; Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses, 1879, Seite 31. In der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde ist in dem Abschnitte „Darstellung des Zementstahls“ über einige sonstige Versuche berichtet, deren Ergebnisse die stattfindende Kohlenstoffwanderung aufser Zweifel stellen.

[2]) Versuche über den Einflufs von Kohlenwasserstoffen, in Percys Laboratorium angestellt, sind mitgeteilt in Weddings Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. I, Seite 1097; Versuche, durch R. Mannesmann ausgeführt, in dessen genannter Abhandlung, Seite 39; Versuche durch Bruch angestellt, in dessen Dissertation (unter Literatur genannt).

[3]) Versuche Mannesmanns in genannter Abhandlung, Seite 40.

[4]) Versuche Percys hierüber: Weddings Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. I, Seite 1097; Versuche L. Bells: The Journal of the Iron and Steel Institute 1871 I, Seite 163; Versuche Bruchs in dessen unter Literatur genannten Dissertation. Dagegen fand Deville, dafs Klavierdraht, welcher bei 1300° C. im Kohlenoxydstrome erhitzt worden war, sich in Stahl verwandelt hatte. Eine Bestimmung des aufgenommenen Kohlenstoffgehalts scheint jedoch nicht stattgefunden zu haben (v. Jüptner, Siderologie, 3. Teil, Seite 39).

Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff.

Trotz des starken Vereinigungsbestrebens der beiden Körper ist die Menge des Kohlenstoffs, welche vom Eisen aufgenommen werden kann, beschränkt. Sie wächst mit der Temperatur. Obgleich schon das glühende Eisen, wie oben besprochen wurde, Kohlenstoff aufzunehmen vermag, ohne geschmolzen zu werden, hört doch die Kohlenstoffaufnahme auf, sobald der Kohlenstoffgehalt ein gewisses, von der Temperatur abhängiges Mafs erreicht hat. Saniter fand, dafs ein bei 900° C. 21 Tage lang in Holzkohlen geglühter Draht 2,95 v. H. Kohlenstoff aufgenommen hatte, ohne seinen Kohlenstoffgehalt ferner anzureichern[1]). Auch das geschmolzene Eisen vermag um so mehr Kohlenstoff aufzunehmen, je stärker es erhitzt ist; wie aber eine im erhitzten Zustande gesättigte Kochsalzlösung beim Abkühlen einen Teil ihres Kochsalzgehalts wieder ausscheidet, bis schliefslich bei —22° C. die eutektische Lösung mit 23,6 v. H. Kochsalz erstarrt, so entläfst das in hoher Temperatur mit Kohlenstoff gesättigte Eisen einen Teil davon beim Abkühlen in Form von Graphit, bis die Erstarrung eintritt. Hieraus erklären sich die abweichenden Angaben verschiedener Forscher über das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff. Mylius, Förster und Schöne erhielten ein Roheisen ohne Graphit mit 4,36 v. H. Kohlenstoff, als sie die chemische Verbindung Fe_3C (6,6 v. H. Kohlenstoff enthaltend) im Stickstoffstrome schmolzen; mehr als 2 v. H. Kohlenstoff war demnach ausgetreten und bildete einen lockeren, leicht zu entfernenden Überzug auf dem Metalle[2]). Bei dem gleichen Versuche erhielt Saniter Eisen mit 4,37 v. H. Kohlenstoff. Ein anderer Versuch desselben Forschers, bei welchem reiner Eisendraht mehrmals in einem aus Lampenrufs mit Kalkzusatz gefertigten Tiegel geschmolzen wurde, ergab ein Roheisen mit 4,31 v. H. Kohlenstoff; jedoch bestand bei beiden Versuchen der Kohlenstoff zum Teil aus Graphit[3]). Man darf aus diesen Versuchen folgern, dafs das schmelzende Eisen etwa 4,3 v. H. Kohlenstoff aufnehmen kann.

Fremde Körper, welche neben Kohlenstoff in dem Eisen anwesend sind, beeinflussen jedoch dessen Fähigkeit, Kohlenstoff aufzunehmen.

Mangan und Chrom erhöhen die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Kohlenstoff. Eisenmanganlegierungen können ungefähr folgende Kohlenstoffgehalte besitzen, sofern sonstige, die Aufnahmefähigkeit abmindernde Körper nicht zugegen sind:

bei	10—20	v. H.	Mangan	5,0	v.	H.	Kohlenstoff,
„	35	„ „	„	5,5	„	„	„
„	50	„ „	„	6,0	„	„	„
„	65	„ „	„	6,5	„	„	„
„	80	„ „	„	7,0	„	„	„
„	90	„ „	„	7,5	„	„	„

[1]) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 956, aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1897, II.

[2]) Zeitschrift für anorganische Chemie, Bd. 13 (1896), Seite 51.

[3]) Wie Fufsanmerkung 1.

Legierungen der zuletzt angegebenen Zusammensetzung können demnach nur noch 2,5 v. H. Eisen enthalten.

In Eisenchromlegierungen hat man nachstehende Kohlenstoffgehalte gefunden[1]):

bei 18,0 v. H. Chrom 5,8 v. H. Kohlenstoff,
„ 48,0 „ „ „ 7,2 „ „ „
„ 49,8 „ „ „ 7,8 „ „ „

Silicium, Schwefel, Phosphor, Aluminium verringern die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Kohlenstoff. Annähernd, doch nicht genau, ersetzen diese Körper den Kohlenstoff im Verhältnisse ihrer Atomgewichte, so daſs 1 Teil Silicium $^3/_7$ Teile Kohle, 1 Teil Schwefel $^3/_8$ Teile Kohle ersetzt. Eisen mit 2 v. H. Silicium und frei von Mangan enthält selten mehr als 3,8 v. H. Kohle; Eisenmangan mit 50 v. H. Mangan und 2 v. H. Silicium nicht über 5 v. H. Kohle. Falsch aber würde der Schluſs sein, daſs Eisen mit mehr als 12 v. H. Silicium nunmehr ganz kohlenstofffrei sein müsse, da dieser Siliciumgehalt, den Verhältnissen der Atomgewichte gemäſs, jenen Gehalt von 4,8 v. H. Kohle ersetzen würde, welcher oben als höchster erreichbarer Gehalt des übrigens reinen Eisens bezeichnet wurde. Man findet auch neben dem angegebenen Siliciumgehalte gewöhnlich noch etwa 1 v. H. Kohlenstoff, und selbst wenn der Siliciumgehalt auf 16 v. H. steigt, kann daneben noch etwa 0,8 v. H. Kohlenstoff, allerdings im graphitischen Zustande, zugegen sein. Auch bei diesen Legierungen steigt zweifellos die Aufnahmefähigkeit für Kohlenstoff mit der Temperatur.

Aus Versuchen, welche im kleinen früher von Karsten[2]), später in Percys[3]) Laboratorium angestellt wurden, geht hervor, daſs, wenn Schwefel von Eisen aufgenommen wird, welches mit Kohlenstoff gesättigt ist, ein Teil des Kohlenstoffs als fester Körper ausscheidet. Schwefelreiches Eisen enthält niemals so viel Kohle, als das schwefelarme aufzunehmen vermag. Beim Schmelzen von Eisen mit 4,5 v. H. Kohlenstoff unter Zusatz von Schwefeleisen erhielt Weston ein Schmelzerzeugnis mit nur 3,17 Kohlenstoff neben 2,12 v. H. Schwefel; gleiche Versuche mit demselben Eisen bestätigten regelmäſsig die Abnahme des Kohlenstoffgehalts bei Zunahme des Schwefelgehalts.

Über den Einfluſs des Phosphorgehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff sind durch Stead Versuche angestellt worden[4]). Beim Schmelzen von Eisen mit verschiedenem

---

[1]) Nach Riley (The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, Seite 165). Auch Brustlein fand in Chromeisen mit 42,0 v. H. Chrom 7,8 v. H. Kohlenstoff (The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, Seite 770). Einige sonstige Analysen solcher Legierungen mit hohem Kohlenstoffgehalte, deren Richtigkeit jedoch nicht auſser allem Zweifel steht, sind in „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 858, und 1893, Seite 19 mitgeteilt.

[2]) Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3. Aufl. (1841), Bd. 1, Seite 427.

[3]) Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 277.

[4]) „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 10, aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 60.

Phosphorgehalte in mit Kohle ausgefutterten Tiegeln erhielt er Roheisen mit

Phosphor	0,00	4,10	7,90	13,00	16,00
Kohlenstoff	4,15	3,25	2,00	0,70	—

so dafs also ein Phosphorgehalt von 16 v. H. die Kohlenstoffaufnahme gänzlich verhindert hatte. Auch sonstige Beobachtungen liefern die Bestätigung für die Abminderung des Sättigungsvermögens des Eisens für Kohlenstoff bei Aufnahme von Phosphor. So z. B. enthielt ein durch reduzierendes Schmelzen von Eisenerzen und Calciumphosphat mit einem reichlichen Überschufs von Kohle in einem kleinen Versuchshochofen dargestelltes und von mir untersuchtes Phosphoreisen

Phosphor	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
10,19	1,11	0,00	5,17

und Hilgenstock fand in einem ebensolchen Erzeugnisse mit 12,12 v. H. Phosphor nur 0,87 v. H. Kohlenstoff, während ein Eisen mit 3,26 v. H. Phosphor und 1,08 v. H. Silicium einen Kohlenstoffgehalt von 2,01 v. H. besafs[1]).

Die Abminderung, welche das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff durch einen Aluminiumgehalt erfährt, wurde durch Versuche Hoggs[2]) sowie später Mellands und Waldrons[3]) erwiesen. In allen Fällen verringerte sich der Kohlenstoffgehalt des weifsen Roheisens, wenn man es mit Aluminium schmolz oder ihm im flüssigen Zustande Aluminium zusetzte. Bei Hoggs Versuchen enthielt das Roheisen, dessen Siliciumgehalt 0,45 v. H. betrug:

ohne Aluminium.	3,62 v. H. Kohlenstoff
mit 4,05 v. H. Aluminium .	3,58 „ „ „
„ 12,20 „ „ „ .	3,25 „ „ „

Der Siliciumgehalt war in allen Proben annähernd derselbe.

Melland und Waldron fanden den Gesamtkohlenstoffgehalt eines Roheisens mit 0,28 v. H. Silicium

ohne Aluminium . . .	3,98 v. H.
mit 1,78 v. H. „	4,07 „ „
„ 2,87 „ „ „	3,76 „ „
„ 4,24 „ „ „	3,57 „ „
„ 8,31 „ „ „	3,82 „ „
„ 11,80 „ „ „	3,12 „ „

Auch hier war der Siliciumgehalt der Proben beim Schmelzen annähernd unverändert geblieben. Ein deutlicher Einflufs des Aluminiumgehalts wird in beiden Versuchsreihen erst wahrnehmbar, wenn dieser über 4 v. H. hinausgeht, und der Einflufs ist in jedem Falle weniger bedeutend als der eines Silicium- und Phosphorgehalts.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1884, Seite 5.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1894, II, Seite 104; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 407.

[3]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 244; daraus in „Stahl und Eisen" 1901, Seite 54.

Auch einem Nickelgehalte des Eisens schreibt man die Eigenschaft zu, das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff abzumindern. Eine Eisennickellegierung mit 59 v. H. Nickel, welche mehrere Stunden lang mit Kohle geschmolzen worden war, enthielt nach Rudeloff nur 2,29 v. H. Kohlenstoff, während eine ebenso behandelte Probe ohne Nickel 3,63 v. H. Kohlenstoff aufgenommen hatte[1]).

Aus verschiedenen Beobachtungen läfst sich folgern, dafs auch Arsen, Antimon, Zinn das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohle abmindern, ohne dafs bis jetzt umfassende Untersuchungen hierüber angestellt worden wären. In algierischen Geschützkugeln fand Berthier bis 27 v. H. Arsen neben nur 1—1,5 v. H. Kohlenstoff[2]); da aber die sonstigen Bestandteile, insbesondere der Schwefelgehalt, nicht bestimmt wurden, lassen die Analysen keine sicheren Schlufsfolgerungen zu. Durch Zusatz von Zinn zu geschmolzenem kohlenstoffreichem Eisen soll ein Teil des Kohlenstoffs in gleicher Weise wie durch Zusatz von Schwefel zur Ausscheidung gebracht werden[3]); genauere Ermittelungen liegen jedoch über diesen Einflufs nicht vor. Auch über den Einflufs des Antimons fehlen noch zuverlässige Ermittelungen.

Die Formen des Kohlenstoffs im Eisen.

Wie die oft erheblichen Abweichungen in dem physikalischen Verhalten und dem Bruchaussehen verschiedener Eisensorten mit gleichem Gesamtkohlenstoffgehalte uns schliefsen lassen, und wie die chemische Untersuchung mit Sicherheit nachweist, vermag der Kohlenstoffgehalt des Eisens verschiedene Formen anzunehmen, welche in abweichender Weise die Eigenschaften des Eisens beeinflussen, und fast immer finden sich in einem und demselben Eisen mehrere dieser Kohlenstoffformen — mindestens zwei — nebeneinander.

Seitdem man diese Tatsache erkannt hat, ist man bemüht gewesen, das Wesen dieser Kohlenstoffformen und ihre besonderen Einflüsse auf das Verhalten des Eisens zu erforschen. Vollständig ist das Ziel bis heute noch nicht erreicht; manche Vorkommnisse bei der Herstellung, Verwendung und Untersuchung des Eisens lassen es als möglich erscheinen, dafs es Kohlenstoffformen gibt, die uns noch unbekannt sind. Vorläufig kennt man nachstehend beschriebene Formen des Kohlenstoffs.

1. Graphit. Er besteht aus Kohlenstoff, welcher selbständig in Form von hexagonalen Täfelchen innerhalb des Gefüges des Eisens in annähernd gleichmäfsiger Verteilung abgelagert wurde. Von kochender Salzsäure oder kochender, mäfsig starker Salpetersäure wird der Graphit nicht angegriffen; löst man daher graphithaltiges Eisen in diesen Säuren, so bleibt er neben anderen etwa

---

[1]) Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleifses 1902, Seite 89.

[2]) Annales des mines, 1837, Seite 501.

[3]) Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie 1861, Seite 22.

anwesenden unlöslichen Bestandteilen (z. B. Kieselsäure, aus dem Siliciumgehalte des Eisens beim Lösen entstanden) zurück. Seine Entstehung verdankt der Graphit einem Saigerungsvorgange, einem Zerfallen der Eisenkohlenstofflegierung, welche im flüssigen Zustande den Gesamtkohlenstoff in gelöster Form enthielt, während des Erstarrens.

Die, wie erwähnt, annähernd gleichmäfsige Verteilung des Graphits im erstarrten Eisen liefert den Beweis, dafs er nicht schon im flüssigen Eisen zugegen sein kann. Da er ein erheblich geringeres spezifisches Gewicht als das Eisen besitzt (Graphit 2,3, Eisen 7,5), würde er im flüssigen Eisen emporsteigen und sich an der Oberfläche sammeln. Dieser Vorgang tritt tatsächlich dann ein, wenn Eisen in einer über seinem Erstarrungspunkte liegenden Temperatur mit Kohle gesättigt wurde und dann abgekühlt (Seite 316), oder wenn kohlenstoffgesättigtes flüssiges Eisen noch Körper (z. B. Silicium) aufnimmt, welche sein Sättigungsvermögen abmindern. Ein entsprechender Teil des Kohlenstoffs scheidet dann aus dem flüssigen Eisen aus und schwimmt auf der Oberfläche. Diesen Graphit, welcher als eine wirkliche Ausscheidung aus dem Eisen, nicht mehr als ein Bestandteil desselben zu betrachten ist, nennt man Gaarschaum.

Für die Graphitbildung im erstarrenden Eisen und deren Mafs ist teils die chemische Zusammensetzung des Eisens, teils die Art und Weise der Abkühlung bedingend.

Einflufs der chemischen Zusammensetzung.

Jene Saigerung, welcher der im Eisen verteilte Graphit entstammt, kann offenbar nur dann stattfinden, wenn das erstarrende Eisen weniger Kohlenstoff als das flüssige in Lösung zu halten vermag, mit anderen Worten, wenn das Sättigungsvermögen des erstarrenden Eisens für Kohlenstoff niedriger ist als das des flüssigen. Nicht bei jedem im flüssigen Zustande mit Kohlenstoff gesättigten Eisen liegt dieser Fall vor; Eisen, welches nur Kohlenstoff ohne sonstige Fremdkörper enthält, scheidet beim Erstarren keinen Graphit aus. Damit Graphitbildung stattfinde, mufs neben dem Kohlenstoff noch ein zweiter Körper zugegen sein, welcher das Sättigungsvermögen des erstarrenden Eisens für Kohlenstoff stärker als das des flüssigen abmindert und solcherart während des Erstarrens den Kohlenstoff zwingt, aus seiner Lösung im Eisen auszukristallisieren.

In den meisten Fällen, wo Graphitbildung stattfindet, spielt das Silicium diese Rolle.

Kleine Mengen Silicium können neben kleinen Mengen Kohlenstoff im Eisen anwesend sein, ohne dafs Graphitbildung eintritt; letztere beginnt, sobald der Gehalt beider Körper zusammen über ein gewisses Mafs hinausgeht, und je mehr Silicium neben einem bestimmten Kohlenstoffgehalte anwesend ist, desto vollständiger wird letzterer beim Erstarren in Graphit umgewandelt. Anderenteils verringert sich, wie oben erwähnt wurde, mit zunehmendem Siliciumgehalte auch das Sättigungsvermögen des flüssigen Eisens für Kohlenstoff; aus diesem Grunde kann auch der Graphitgehalt eines

Eisens, welches reich an Silicium ist, nicht so bedeutend sein als eines solchen, welches eben nur jene zur Graphitbildung in einem mit Kohle gesättigten Eisen erforderliche Menge Silicium enthält.

Wie hoch der Gehalt des Eisens an Kohle und Silicium sein kann, ohne dafs Graphitbildung eintritt; oder welcher Siliciumgehalt in jedem einzelnen Falle erforderlich ist, um den anwesenden Kohlenstoffgehalt zur Umwandlung in Graphit beim Erstarren zu zwingen, läfst sich genau nicht angeben, da hierbei die Anwesenheit anderer Körper, sowie die Abkühlungsverhältnisse von Einflufs sind. In einem übrigens reinen Eisen, welches 4 v. H. Kohlenstoff enthält, ist nur eine geringe Menge Silicium erforderlich, um einen Teil jenes Kohlenstoffs zur Graphitbildung zu veranlassen; enthält das Eisen nur 1 v. H. oder noch weniger Kohlenstoff, so können daneben mehrere Hundertteile Silicium anwesend sein, ohne dafs Graphitbildung erkennbar wird.

Ähnlich wie Silicium, aber noch kräftiger, wirkt ein Aluminiumgehalt, welcher jedoch nur dann zugegen sein kann, wenn metallisches Aluminium dem flüssigen Eisen zugesetzt wurde. In Proben, welche man durch Zusatz verschiedener Mengen Aluminium zu geschmolzenem weifsen Roheisen gewonnen hatte, fand Borsig folgende Bestandteile[1]):

	Al	Graphit	Gesamt C	Si	Mn
Ohne Zusatz geschmolzen	0,00	0,05	3,04	0,25	Spur
Mit 0,5 v. H. Aluminium geschmolzen	0,05	0,08	3,03	0,23	„
„ 1,0 „ „ „ „	0,11	0,85	3,02	0,25	„
„ 2,0 „ „ „ „	0,16	1,53	3,21	0,28	„

Obgleich bei diesen Versuchen nur ein kleiner Teil des gegebenen Aluminiumzusatzes in dem Eisen zurückblieb, ist die Wirkung deutlich. Um in einem Eisen mit dem nämlichen Gesamtkohlenstoffgehalte, wie bei den hier in Rede stehenden Proben, eine ebenso reichliche Graphitausscheidung zu veranlassen, würde etwa die zehnfache Menge Silicium als Aluminium erforderlich sein[2]).

Steigt aber der Aluminiumgehalt des Eisens über ein ziemlich niedriges, von der sonstigen Zusammensetzung des Eisens abhängiges

[1]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 10.

[2]) Borsig gibt zum Vergleiche der Einwirkung beider Körper folgendes Beispiel eines Roheisens mit annähernd dem gleichen Kohlenstoffgehalte, wie in den untersuchten Proben, aber mit steigendem Siliciumgehalte:

Si	Graphit	Gesamt C
0,28	0,00	3,08
0,67	0,15	2,92
0,84	0,49	3,14
1,45	0,85	3,02
1,55	1,15	3,23

Maſs, so hört jene Einwirkung des Aluminiums nicht allein auf, sondern wandelt sich in das Gegenteil um: das Metall wird bei zunehmenden Aluminiumgehalte graphitärmer. So z. B. enthielt bei den schon erwähnten Versuchen Hoggs[1]) weiſses Roheisen, nachdem es mit verschiedenen Mengen Aluminium geschmolzen worden war:

	Al	Graphit	Gesamt C	Si	Mn
Ohne Zusatz	0,00	0,67	3,62	0,45	n. best.
Mit Zusatz	0,92	3,48	3,62	0,50	0,16
„ „	4,05	2,05	3,58	0,42	n. best.
„ „	12,20	0,16	3,25	0,40	0,15

Auch bei siliciumreicherem, ursprünglich schon grauem Roheisen zeigte sich die nämliche Einwirkung eines hohen Aluminiumgehalts:

	Al	Graphit	Gesamt C	Si	Mn
Ohne Zusatz	0,00	2,88	4,18	0,75	0,28
Mit Zusatz	0,85	3,22	4,15	0,75	n. best.
„ „	1,92	2,77	4,18	0,67	n. best.
„ „	3,86	1,67	4,07	0,62	0,20
„ „	8,15	1,58	3,80	0,70	n. best.
„ „	11,85	0,22	3,44	0,62	0,20

Schon bei einem Aluminiumgehalte von 3,86 v. H. ist hier die Graphitbildung geringer als selbst im aluminiumfreihen Roheisen. Eine Bestätigung der Richtigkeit dieser Beobachtungen wurde durch die ebenfalls schon erwähnten Versuche Mellands und Waldrons[2]) gegeben, deren Ergebnissen die nachfolgenden Ziffern entnommen sind.

Aluminiumgehalt	Siliciumgehalt	Gesamtkohlenstoffgehalt	Graphit nach rascher Abkühlung der Probe	Graphit nach langsamer Abkühlung der Probe
0,00	0,28	3,98	0,48	0,76
0,16	0,21	4,00	0,32	3,01
0,72	0,21	3,96	2,64	2,92
1,78	0,28	4,07	2,96	2,93
4,24	nicht best.	3,57	2,28	2,49
8,81	nicht best.	3,32	0,66	0,99
11,80	0,26	3,12	0,20	0,20

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1894, II, Seite 104; „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 407.
[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 244; „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 54.

Hier zeigt der Graphitgehalt deutliche Abnahme bei einem Aluminiumgehalte von 4,24 v. H., und zwar ist die Verringerung des Graphitgehalts noch beträchtlicher als die des Gesamtkohlenstoffgehalts.

Auch ein hoher Nickelgehalt bewirkt neueren Beobachtungen zufolge Graphitbildung. Wedding[1]) gibt als Beispiele hierfür folgende Zusammensetzung zweier Proben Nickelstahl:

	Ni	Graphit	Gesamt C	Si	Mn
1.	58,72	0,70	0,94	0,10	0,07
2.	29,67	0,72	0,90	0,04	0,08

Mangan und Schwefel erschweren die Graphitbildung. Je gröfsere Mengen dieser Körper neben Kohlenstoff zugegen sind, desto mehr Silicium kann zugleich anwesend sein, ohne dafs Graphitbildung eintritt. Es darf hierbei nicht aufser acht gelassen werden, dafs Mangan zugleich den Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff erhöht, Schwefel ihn verringert. Eine Eisenmanganlegierung mit 10 v. H. Mangan und 5 v. H. Kohle kann schon 0,5 v. H. Silicium enthalten, ohne dafs Graphitbildung merkbar wird; bei 60 v. H. Mangan können neben 5 v. H. Kohle mehr als 2,5 v. H. Silicium zugegen sein, ohne Graphitbildung zu veranlassen.

Versuche, in Percys Laboratorium über die Einwirkung des Schwefels auf graphithaltiges Eisen angestellt, ergaben u. a.:

dafs ein graphithaltiges Eisen mit 3,8 v. H. Kohle durch Zusatz von Schwefel, dessen Menge in dem erstarrten Eisen 2,1 v. H. betrug, seinen Kohlenstoffgehalt auf 3,17 v. H. verringerte und ohne Graphitausscheidung erstarrte;

ein graphithaltiges Eisen mit 4,39 v. H. Kohle unter Zusatz von Schwefel (im erstarrten Eisen 0,72 v. H.) sich in graphitarmes Eisen umwandelte, wobei die Abnahme des Kohlenstoffgehalts nicht ermittelt wurde[2]).

Leider wurde bei diesen Versuchen der anwesende Siliciumgehalt nicht bestimmt. Deutlicher zeigen nachstehende Ergebnisse von Versuchen, welche im Eisenhütten-Laboratorium der technischen Hochschule zu Aachen angestellt wurden[3]), den Einflufs des Schwefels sowohl auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff als auf die Graphitbildung. Die Versuche wurden angestellt, indem man demselben grauen Roheisen Schwefel in verschiedenen Mengen zuführte.

(Siehe die Tabelle auf Seite 324.)

Obgleich in beiden Versuchsreihen auch der Siliciumgehalt bei Zunahme des Schwefelgehalts sich etwas verringert, würde diese

---

1) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1898, Seite 85.
2) Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 281.
3) „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 223.

Abnahme doch bei weitem nicht ausreichen, die erhebliche Verringerung des Graphitgehalts zu veranlassen.

1. Versuchsreihe:

Nr.	Si	Mn	P	S	Gesamtkohlenstoff	Graphit	Graphit in Anteilen des gesamten Kohlenstoffs v. H.
1	1,175	0,19	0,007	0,052	3,35	1,63	48,61
2	—	—	—	0,086	3,22	1,40	43,54
3	1,173	0,19	0,007	0,105	3,31	1,31	39,68
4	—	—	—	0,123	3,28	0,79	24,09
5	1,13	0,18	0,007	0,192	3,23	0,54	16,92
6	—	—	—	0,239	3,20	0,39	12,21
7	—	—	—	0,296	3,17	0,32	10,31
8	1,02	0,17	0,007	0,414	3,13	0,146	4,67
9	1,00	0,16	0,007	0,589	3,08	0,045	1,47
10	0,98	0,16	0,007	1,103	3,02	0,032	1,06

2. Versuchsreihe:

Nr.	Si	Mn	P	S	Gesamtkohlenstoff	Graphit	Graphit in Anteilen des gesamten Kohlenstoffs v. H.
1	2,10	0,19	0,007	0,062	3,44	2,17	63,08
2	—	—	0,007	0,092	3,24	1,83	53,51
3	2,03	0,19	—	0,130	3,39	1,54	45,45
4	2,07	0,18	0,007	0,179	3,36	1,52	45,27
5	2,02	—	—	0,249	3,30	1,49	45,45
6	1,99	0,18	0,007	0,321	3,25	1,51	46,51
7	1,99	—	—	0,480	3,17	1,50	47,39
8	1,98	0,17	0,007	0,587	3,08	0,85	27,50
9	1,96	—	—	0,658	3,00	0,12	4,03
10	1,93	0,16	0,007	1,171	2,90	0,039	1,35

Dagegen hindert neueren Versuchen zufolge Phosphor nicht die Graphitbildung. Stead erhielt beim Zusammenschmelzen von Eisen mit verschiedenen Mengen Silicium- und Phosphoreisens in Tiegeln mit Holzkohlenfutter Roheisenkönige von nachstehender Zusammensetzung[1]:

Gesamtkohlenstoff . .	2,29	1,99	1,69	0,88
Graphit	1,78	1,88	1,69	0,88
Silicium	1,96	1,96	2,84	3,86
Phosphor	4,95	6,85	8,85	12,86

Das Verhältnis des Graphitgehalts zum Gesamtkohlenstoffgehalte steigt hier mit dem Phosphorgehalte, und schon bei 8,85 v. H. Phosphor ist aller Kohlenstoff als Graphit zugegen. Berücksichtigt man, dafs in allen diesen Fällen der Siliciumgehalt nicht übermäfsig hoch ist, so gelangt man zu dem Schlusse, dafs Phosphor die Graphitbildung eher begünstige als vermindere.

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 60; „Stahl und Eisen" 1901, Seite 10.

Einflufs der Abkühlung.

Jeder Saigerungsvorgang wird durch langsame Abkhülung des erstarrenden Metalls befördert, durch rasche Abkühlung erschwert. Daher befördert auch langsame Abkühlung des erstarrenden, mit Kohlenstoff gesättigten Eisens die Graphitbildung, während rasche Abkühlung sie erschwert.

Ein und dasselbe Eisen kann daher verschiedenen Graphitgehalt besitzen, je nachdem es langsam oder rasch abgekühlt wurde; ja, in verschiedenen Querschnitten eines und desselben Eisenstücks kann der Graphitgehalt verschieden sein, an den Rändern und in dünneren Querschnitten, wo die Abkühlung rascher vor sich ging, schwächer als in stärkeren Querschnitten und in der Mitte.

Es verdient Erwähnung, dafs der Gesamtkohlenstoffgehalt des Eisens in den verschiedenen Teilen des nämlichen Eisenstücks sich gewöhnlich umgekehrt verhält als der Graphit allein; er ist in den rascher erstarrenden Querschnitten gröfser als in den langsamer erstarrenden. So z. B. fand ich in einer gegossenen Walze, deren Mittelteil (Walzenbund) in gufseiserner Form gegossen, also rasch abgekühlt war, während die Zapfen in Masse gegossen waren und demnach langsamer erkalteten:

	Rasch erkalteter Teil	Langsam erkalteter Teil
Gesamtkohlenstoff . . .	3,20	2,84
Graphit	0,19	1,98

und bei einer zweiten ebenso gegossenen Walze

	Rasch erkalteter Teil	Langsam erkalteter Teil
Gesamtkohlenstoff . . .	3,08	2,40
Graphit	0,18	1,24

Durch beschleunigte Abkühlung, z. B. durch Eingiefsen des flüssigen Eisens in metallene Formen, ist man, wie die hier mitgeteilten Beispiele erkennen lassen, imstande, bei manchen Eisensorten, welche bei langsamer Abkühlung Graphit in reichlicher Menge ausscheiden würden, die Graphitausscheidung beinahe vollständig zu hintertreiben. Dickere Stücke von solchem Eisen, welche vom Rande her oder an bestimmten Stellen rasch abgekühlt wurden, in der Mitte oder an anderen Stellen dagegen langsamer erkalteten, zeigen an den ersteren Stellen keine Graphitausscheidung, sie erstarren als weifses Roheisen, während an den weniger rasch erkalteten Stellen oft reichliche Graphitbildung stattgefunden hat. Auf diesem Vorgange beruht die Herstellung des Hartgusses, d. h. gufseiserner Gebrauchsgegenstände, welche an einzelnen Stellen graphitreich, an anderen graphitarm sind. Auch die besprochenen Walzen waren solche Hartgufsstücke [1]).

---

[1]) Seltsamerweise beobachtete Hogg bei seinen oben mitgeteilten Versuchen über den Einflufs eines gröfseren Alum.niumgehalts auf kohlenstoffreiches Eisen (Seite 322), dafs im Gegensatze zu dem Verhalten des gewöhnlichen graphithaltigen Eisens bei langsamer und rascher Abkühlung das Eisen, wenn es einen

Aus dem erwähnten Umstande, dafs Graphitbildung nur eintreten kann, wenn das flüssige Eisen mehr Kohlenstoff enthält, als das erstarrte in Lösung zu behalten vermag, ergibt sich von selbst, dafs überhaupt nur im kohlenstoffreichen Eisen, dem Roheisen, Graphit entstehen kann. Für das graue Roheisen bildet sein Graphitgehalt das kennzeichnende Merkmal: schmiedbares Eisen enthält keinen Graphit.

2. Karbidkohle. Diese Kohlenstoffform, welche zuerst im Jahre 1822 durch Faraday[1]), später von Karsten[2]), Caron[3]), Rinman[4]), Abel[5]), und anderen beobachtet wurde und von Rinman die nicht gut gewählte Bezeichnung Zementkohle erhielt, tritt nicht, wie der Graphit, selbständig im Eisen auf, sondern sie bildet einen Bestandteil einer Eisenkohlenstoffverbindung, welche, kohlenstoffreicher als alles flüssige Eisen und von unveränderlicher Zusammensetzung sich während der allmählichen Abkühlung eines vorher bis zur hellen Rotglut erhitzten Eisenstücks von dem übrigen Eisen sondert. Mylius, Foerster und Schoene wiesen durch sorgfältige Untersuchungen nach, dafs hier eine engere chemische Verbindung zwischen Eisen und Kohlenstoff, ein Karbid, vorliegt, welches 93,33 v. H. Eisen neben 6,66 v. H. Kohlenstoff enthält und demnach durch die chemische Formel Fe_3C gekennzeichnet wird[6]). Wird das Karbid aus mangan- oder chromhaltigem

---

reichlichen Aluminiumzusatz erhalten hatte, mehr Graphit bei rascher als bei langsamer Abkühlung ausschied; z. B.:

	Al	Graphit	Gesamt C	Si	Mn
nach rascher Abkühlung. .	3,86	2,68	4,01	0,69	0,20
nach langsamer Abkühlung.	3,86	1,67	4,07	0,62	0,20
nach rascher Abkühlung. .	4,05	2,25	3,58	0,42	n. best.
nach langsamer Abkühlung.	4,05	2,05	3,58	0,42	n. best.

Sofern hier nicht unbeachtete Nebenumstände eine Rolle spielen, würde man eine Erklärung der auffälligen Erscheinung finden können, wenn man das Verhalten des Aluminiums zum Silicium und den Umstand berücksichtigt, dafs beide untersuchte Proben auch Silicium enthielten. Aluminium und Silicium besitzen ein starkes Vereinigungsbestreben, während Aluminium und Kohlenstoff sich nicht oder nur in sehr geringem Mafse vereinigen. Bei langsamer Erkaltung eines Roheisens, welches neben Kohlenstoff auch jene beiden Körper enthält, entsteht, noch bevor die Graphitbildung beginnt, eine kohlenstofffreie Silicium-Aluminium-Eisenlegierung neben dem kohlenstoffhaltigen, aber an Silicium und Aluminium ärmeren Metall, und die Graphitausscheidung in letzterem ist geringer, als wenn die Abkühlung beschleunigt und dadurch die Gelegenheit zu dem erwähnten Saigerungsvorgange eingeschränkt wurde. Melland und Waldron beobachteten bei ihren ebenfalls schon erwähnten Versuchen mit einem Roheisen, welches nur etwa 0,21 v. H. Silicium enthielt, dafs der Graphitgehalt bei langsamer und rascher Abkühlung annähernd gleich war, wenn der Aluminiumgehalt der Proben nicht weniger als 0,5 und nicht mehr als 4,0 v. H. betrug; sowohl in den an Aluminium ärmeren als reicheren Proben verringerte rasche Abkühlung die Graphitausscheidung. Auch bei Borsigs Versuchen (Seite 321) war das rasch abgekühlte Metall ärmer an Graphit als das langsam abgekühlte.

[1]) Philosophical Transactions 1822, Seite 265.

[2]) Archiv für Bergbau und Hüttenwesen, Bd. 8 (1824), Seite 3.

[3]) Comptes rendus, Bd. 56, Seite 43.

[4]) Journal für praktische Chemie, Bd. 100, Seite 33.

[5]) Engineering, Bd. 39 (1885), Seite 151.

[6]) Zeitschrift für anorganische Chemie, Bd. 13 (1896), Seite 38. Der gefundene Kohlenstoffgehalt schwankte zwischen 6,42—6,71 v. H.

Eisen abgeschieden, so pflegt ein Teil seines Eisengehalts durch Mangan oder Chrom ersetzt zu sein [1]). Es hinterbleibt in Vermischung mit sonstigen unlöslichen Körpern (Graphit, Kieselsäure, Kupfer), wenn man das Eisen bei Luftabschlufs längere Zeit (mindestens einige Tage) mit stark verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure ohne Erwärmung behandelt und den Rückstand ebenfalls bei Luftabschlufs filtriert, auswäscht und trocknet. Hat die Luft bei diesen Arbeiten Zutritt, so findet teilweise Zersetzung statt, wobei Eisen gelöst wird und Kohlenstoff zurückbleibt [2]). Auch durch starke Säuren wird das Karbid unter Entwicklung von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen zerlegt, und dieser Umstand ermöglicht bei der chemischen Untersuchung des Eisens eine Trennung der Karbidkohle vom Graphit.

Eigentümlich ist ferner das Verhalten der Karbidkohle gegen Salpetersäure. Beim Auflösen des Eisens, welches diese Kohlenstoffform enthält, in kalter Salpetersäure hinterbleibt ein brauner flockiger Rückstand, welcher beim Erwärmen sich allmählich löst, der Flüssigkeit eine braune Farbe erteilend [3]). Das Mafs dieser Färbung steht im Verhältnisse zu der gelösten Kohlenstoffmenge, und man benutzt diesen Umstand für die kolorimetrische Bestimmung des Kohlenstoffgehalts im schmiedbaren Eisen [4]).

Nach Mafsgabe der mitgeteilten Zusammensetzung des Karbids beträgt dessen Gehalt im Eisen das Fünfzehnfache des gefundenen Gehalts an Karbidkohlenstoff.

Das Eisenkarbid kann, sofern es aus gröfseren Eisenstücken abgeschieden wurde, noch deren Form und Gröfse besitzen, so dafs selbst Feilstriche, welche ursprünglich vorhanden waren, noch erkennbar sind, während sich unter der Lupe wahrnehmen läfst, dafs das Ganze aus einem Gewirr glänzender Nadeln und Blätter besteht, welche schon in dem ungelösten Stahle zugegen waren; scheidet man das Karbid dagegen aus feinzerkleintem Eisen ab, so hinterbleibt es in Form eines grauschwarzen Pulvers, welches unter dem Mikroskop als aus silberglänzenden Körnchen bestehend sich er-

---

[1]) So z. B. fand v. Jüptner nach dem Auflösen eines Chromstahls mit 7,5 v. H. Chrom und 2,5 v. H. Kohlenstoff ein Karbid, welches 73,5 v. H. Eisen, 20,0 v. H. Chrom und 6,7 v. H. Kohlenstoff enthielt (Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Bd. 1 (1896), Seite 500).

[2]) Hinsichtlich der Ausführung des Verfahrens möge auf die in Fufsanmerkung 6 auf Seite 326 genannte Arbeit verwiesen werden. Schon früher schied Fr. C. G. Müller das Karbid in der nämlichen Weise ab, filtrierte aber bei Luftzutritt und fand einen Kohlenstoffgehalt von 6,6—7,7 v. H. („Stahl und Eisen“ 1888, Seite 292). Abel (Fufsanmerkung 5 auf Seite 326) gewann das Karbid durch Lösen des Eisens in einem Gemische von Schwefelsäure mit Kaliumbichromat.

[3]) Osmond und Werth fanden nachstehende Zusammensetzung der braunen Flocken: C = 44,59 v. H., Fe = 8,05 v. H., H_2O = 22,5 v. H., O + N = 24,86 v. H. (Annales des mines, Reihe 8, Bd. 8, 1885, Seite 5).

[4]) Die Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts im graphitfreien Eisen, insbesondere im schmiedbaren Eisen, auf Grund jenes Verhaltens der Karbidkohle wird durch den Umstand ermöglicht, dafs das Gewichtsverhältnis der Karbidkohle zum Gesamtkohlenstoffgehalte bei gewöhnlicher Abkühlung des Eisens annähernd gleich zu sein pflegt (etwa 0,75). Näheres: Ledebur, Leitfaden für Eisenhüttenlaboratorien, 6. Aufl., Seite 82.

weist. Die Härte dieser Körnchen ist beträchtlich und entspricht nach Müller ungefähr dem Härtegrad 6 der mineralogischen Härteskala (härter als Feldspath, weniger hart als Bergkristall). Beim Erhitzen auf Rotglut unter Luftabschlufs bleibt es unverändert; in Weifsglut schmilzt es unter Abscheidung von Kohle, welche die geschmolzene Masse locker bedeckt und leicht davon getrennt werden kann, während diese nur noch etwa 4,8 v. H. Kohlenstoff enthält (Seite 316).

Die Entstehung des Karbids beruht, ähnlich wie die des Graphits, auf einem Saigerungsvorgange, einem Zerfallen der in höherer Temperatur vorhandenen Lösung des Kohlenstoffs im Eisen während allmählicher Abkühlung, nur mit dem Unterschiede, dafs die Karbidbildung in Temperaturen sich vollzieht, welche um mehrere hundert Grade unter dem Schmelzpunkte liegen und in fast jedem kohlenstoffhaltigen Eisen bei langsamer Abkühlung sich vollzieht, gleichviel, ob der Gesamtkohlenstoffgehalt hoch oder niedrig ist, und welche sonstigen Fremdkörper zugegen sind. Nur wenn ein sehr hoher Siliciumgehalt des Eisens die völlige Umwandlung des Kohlenstoffs beim Erstarren in Graphit bewirkt (im Siliciumeisen mit 10 v. H. oder mehr Silicium) kann Karbidbildung nicht mehr stattfinden. Die Temperatur, bei welcher das Karbid in dem erkaltenden Eisen entsteht, beträgt zwar in jedem Falle mindestens 700° C., ist aber durch dieHöhe des Gesamtkohlenstoffgehalts bedingt. Näheres über diesen Vorgang ergibt sich aus den unten folgenden Mitteilungen über das Kleingefüge kohlenstoffhaltigen Eisens und dessen Entstehung. Beim Erhitzen des karbidhaltigen Eisens über die Entstehungstemperatur hinaus, und zwar in der Regel in einer um etwa 40 Grade höher liegenden Temperatur, zerfällt das Karbid wieder, und sein Kohlenstoffgehalt verteilt sich in der Gesamtmenge des Eisens, mit dieser eine gleichmäfsige Lösung bildend[1]).

Ein gröfserer Gehalt des Eisens an Mangan oder Wolfram erschwert die Karbidbildung, ohne sie völlig zu hindern[2]).

Langsame Abkühlung befördert, rasche Abkühlung verhindert die Entstehung des Karbids. Auch in dieser Beziehung stimmt demnach der Vorgang der Karbidbildung mit dem der Graphitbildung und anderen Saigerungsvorgängen überein. Erwärmt man jedoch Eisen, welches nach plötzlicher Abkühlung, z. B. Ablöschen in Wasser, weniger Karbidkohle enthält, als es nach langsamerer Abkühlung besitzen würde, so tritt schon bei einer Temperatur von wenig über 100° C.

---

[1]) Dafs Kohlenstoff im hocherhitzten Eisen wandern, sich verteilen könne, ohne dafs dieses geschmolzen zu sein braucht, wurde schon auf Seite 314 durch Mitteilung anderer Vorgänge erwiesen. Einige Metallurgen nehmen an, dafs beim Erhitzen das Karbid nicht zerfalle, sondern unzersetzt in dem Überschusse des Eisens sich löse. Da aber das Karbid in der Schmelztemperatur des Eisens nicht beständig, sondern unter Abgabe von Kohlenstoff zerfällt, wie oben erwähnt wurde, ist mir diese Annahme nicht wahrscheinlich. Im übrigen ist die Frage rein theoretisch; für das Verhalten des Eisens ist nur der Umstand von Bedeutung, dafs das freie Karbid zu bestehen aufhört, wenn das Eisen auf die genannte Temperatur erhitzt wird.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 449 (Osmond); 1891, Seite 297 (Ledebur).

Karbidbildung ein, und bei etwa 400° C. enthält das Metall annähernd die gleiche Menge Karbidkohle, die es bei gewöhnlicher Abkühlung besessen haben würde. Die Verhinderung der Karbidbildung beim Ablöschen des glühenden kohlenstoffhaltigen Eisens und die Neubildung des Karbids durch mäfsiges Erwärmen des abgelöschten Metalls bildet die Grundlage des später ausführlicher zu besprechenden Härtens und Anlassens des Stahls.

3. Temperkohle. Beim anhaltenden Glühen manganarmen Eisens mit mindestens 0,9 v. H. Kohlenstoff in einer Temperatur, welche höher ist als die zur Bildung des Karbids erforderliche, tiefer als diejenige, bei welcher Graphit entsteht und nach Versuchen Roystons[1]) zwischen 720—850° C. liegt, sondert sich eine Kohlenstoffform von dem übrigen Eisen, welcher man den Namen Temperkohle gegeben hat, weil sie vorzugsweise häufig beim Tempern, d. h. Weichmachen des Eisens durch anhaltendes Glühen, auftritt. Hämmern des glühenden Eisens befördert die Entstehung der Temperkohle. In einem weifsen Roheisen mit 3,85 v. H. Gesamtkohlenstoffgehalt, 0,29 v. H. Silicium, 0,15 v. H. Mangan fand Royston, nachdem es auf 1030°, also nahe bis zum Schmelzen, erhitzt und dann während der Abkühlung mit dem Hammer bearbeitet worden war, 3,15 v. H. Temperkohle; ein Werkzeugstahl mit 1,54 v. H. Gesamtkohlenstoffgehalt enthielt nach einer von mir angestellten Untersuchung 0,66 v. H. Temperkohle, nachdem er kurze Zeit zum Rotglühen erhitzt, hierauf unter langsamen Hammerschlägen unter Rotglut abgekühlt und dann durch rasch aufeinander folgende Hammerschläge wieder zum Erglühen erhitzt worden war, worauf er ruhiger Abkühlung überlassen wurde[2]).

Ein Mangangehalt des Eisens erschwert die Entstehung der Temperkohle, in noch stärkerem Mafse ein Schwefelgehalt; ein Siliciumgehalt befördert sie[3]).

Auf der Bruchfläche des Eisens ist die Temperkohle, sofern sie in einigermafsen reichlichen Mengen auftritt und ihre Gegenwart nicht etwa durch gleichzeitig anwesenden Graphit verdeckt wird, in Form feiner schwarzer Pünktchen erkennbar, welche entweder annähernd gleichmäfsig auf der Bruchfläche verteilt sind oder auch zu einzelnen Gruppen von oft mehreren Millimetern Durchmesser zusammentreten, so dafs die Bruchfläche dadurch ein gesprenkeltes Aussehen erhält. Beim Auflösen des Eisens in Säuren verhält sich die Temperkohle ebenso wie Graphit, d. h. sie hinterbleibt als schwarzer Rückstand, ohne von der Säure angegriffen zu werden. Wir besitzen daher bis jetzt kein Mittel, sie, wo sie neben Graphit auftritt, getrennt von diesem zu bestimmen, und sie wird häufig auch Graphit genannt[4]). Sie unterscheidet

[1]) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 629 (aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1897, I).

[2]) „Stahl und Eisen" 1895, Seite 949.

[3]) Vergl. hierüber die unter Literatur genannten Arbeiten von Charpy und Grenet, sowie von Wüst und Schlösser.

[4]) Vermutlich enthält manches graue Roheisen neben dem Graphit auch Temperkohle, bei allmählicher Abkühlung entstanden. In Ermangelung eines geeigneten Trennungsverfahrens lassen sich beide Kohlenstoffformen nur gemeinschaftlich bestimmen und werden dann als Graphit aufgeführt.

sich von diesem teils durch ihre amorphe Form, während der Graphit kristallisiert ist, teils durch ihre geringere Widerstandsfähigkeit beim Glühen des Roheisens in Berührung mit oxydierenden Körpern, z. B. Eisenoxyden. Eine von Forquignon früher gemachte Beobachtung, nach welcher die im Eisen vorhandene Temperkohle auch beim Glühen des Eisens im trocknen Wasserstoff- oder Stickstoffstrome als Kohlenwasserstoff oder Cyangas verflüchtigt werden könne[1]), hat dagegen durch neuere Untersuchungen Geigers[2]) keine Bestätigung gefunden.

Ob die Temperkohle, wie der Graphit, im Eisen bereits als selbständig ausgeschiedener Kohlenstoff vorhanden ist, oder ob sie, wie die Karbidkohle, den Bestandteil eines anderen, kohlenstoffreicheren, beim Glühen in höherer Temperatur entstehenden Karbids bildet, welches durch heiſse Säuren unter Zurücklassung des Kohlenstoffgehalts in Pulverform zerlegt wird, lieſs sich bis jetzt nicht ermitteln. Die meisten Forscher nehmen an, daſs sie beim Glühen als reiner Kohlenstoff austritt, welcher aber wegen seiner amorphen Beschaffenheit und feinen Verteilung chemischen Einflüssen leichter als Graphit zugänglich sei.

4. Härtungskohle. Diese Kohlenstoffform ist in dem Eisen gleichmäſsig, aber in wechselnder Menge, gelöst, mit ihm legiert. Alles flüssige Eisen enthält nur Härtungskohle; beim Erstarren erst bildet sich, wie beschrieben wurde, Graphit, später das Karbid mit der Karbidkohle und beim längern Glühen die Temperkohle; wird Eisen, welches diese Kohlenstoffformen enthält, bis zum Schmelzen erhitzt, so löst sich zunächst das Karbid, dann die Temperkohle, zuletzt der Graphit.

Beim Auflösen des Eisens, welches Härtungskohle enthält, in kalter Salzsäure oder Schwefelsäure (auch in stark verdünnter) entweicht die Härtungskohle als stark riechendes Kohlenwasserstoffgas (Unterschied von der Karbidkohle, welche von verdünnter kalter Säure nicht angegriffen wird); beim Auflösen des Eisens in kalter Salpetersäure hinterbleibt sie zunächst als tiefschwarzer Rückstand, welcher sich deutlich von den braunen Flocken der Karbidkohle unterscheidet, beim Schütteln sehr rasch, in der Ruhe nach einigen Minuten sich löst, beim Erwärmen der Lösung auf 100° C. aber gasförmig entweicht, wobei die anfänglich dunklere Lösung zusehends heller wird[3]).

Ein Eisen von bestimmtem Gesamtkohlenstoffgehalte kann offenbar um so weniger Härtungskohle enthalten, je gröſser sein Gehalt an den übrigen Kohlenstoffformen ist. Während langsame Abkühlung die Entstehung von Graphit und Karbidkohle befördert, verringert sie demnach die Menge der zurückbleibenden Härtungskohle, und durch anhaltendes Glühen mit darauf folgender langsamer Abkühlung läſst sich der Gehalt eines Eisens an Härtungs-

---

[1]) Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Bd. 23, Seite 443; daraus in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 383.

[2]) Vergl. dessen unter Literatur genannte Dissertation.

[3]) Die Beobachtung wurde zuerst durch Osmond und Wert in bestimmter Form ausgesprochen. Vergl. „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 376.

kohle fernerhin abmindern, unter Umständen ganz in Temperkohle umwandeln.

Ein Siliciumgehalt des Eisens wirkt dem Zurückbleiben reichlicher Mengen von Härtungskohle im erkalteten Eisen entgegen, indem er die Entstehung von Graphit, vermutlich auch von Karbidkohle, befördert; Mangan, Wolfram, Chrom befördern das Zurückbleiben der Härtungskohle.

Den Namen Härtungskohle für diese Kohlenstoffform hat man gewählt, weil von ihrem Gehalte wesentlich der Härtegrad des Eisens und Stahls, zumal des Werkzeugstahls, abhängt. Beim Ablöschen des glühenden Stahls in Wasser bleiben reichliche Mengen Härtungskohle zurück, der Stahl wird „gehärtet"; beim Wiedererwärmen verringert sich die Menge der Härtungskohle unter Bildung von Karbidkohle, wie schon erwähnt wurde, der Stahl wird „angelassen", d. h. er verliert an Härte. Steigt die Temperatur indes über jene Grenze hinaus, bei welcher während des Abkühlens das Karbid sich bildet (Seite 328), so entsteht aufs neue Härtungskohle, welche im Eisen sich löst, wie oben erwähnt wurde.

Karbidkohle und Härtungskohle zusammen, also diejenigen beiden Formen des Kohlenstoffs, welche bei Behandlung des Eisens mit kochenden Säuren unter Zurücklassung des Graphits und der Temperkohle entweichen oder gelöst werden, nennt man wohl gebundenen Kohlenstoff. Nicht zutreffend ist der ebenfalls mitunter angewendete Ausdruck „amorpher Kohlenstoff". Auch die Temperkohle hinterbleibt, wie erwähnt wurde, beim Auflösen des Eisen im amorphen Zustande.

5. Sonstige Kohlenstoffformen. Für die Beurteilung des Verhaltens kohlenstoffhaltigen Eisens haben bislang nur die vier vorstehend besprochenen Kohlenstoffformen Bedeutung erlangt. Einige Forscher wollen das Auftreten von Karbiden nachgewiesen haben, deren Zusammensetzung von der des oben besprochenen Karbids Fe_3C abweicht, doch fehlt hierfür noch die Bestätigung[1]). Dagegen ist es kaum zweifelhaft, dafs im kohlenstoffhaltigen Eisen ein Teil des Kohlenstoffgehalts als Diamant — allerdings in sehr geringen Abmessungen — auskristallisieren kann. Moissan[2]) fand Diamanten im Eisen, welches stark über seine Schmelztemperatur hinaus erhitzt und dann rasch abgekühlt worden war; später entdeckte Franck[3]) auch solche im gewöhnlichen Stahl. Dafs das Auftreten dieser Kohlenstoffform für die Erzeugung oder Verwendung des Eisens besondere Bedeutung besitze, ist nicht wahrscheinlich.

---

[1]) So z. B. glaubte Müller ein Karbid von der Formel FeC_3 beobachtet zu haben (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 22, Seite 456), Arnold ein solches von der Formel $Fe_{24}C$ (Proceedings of the Institution of Civil Engineers 1895: The influence of carbon on iron). Beide Formeln haben wenig Wahrscheinlichkeit für sich.

[2]) Comptes rendus, Bd. 118, Seite 320.

[3]) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 585. Die Abhandlung enthält auch Abbildungen der abgeschiedenen Diamanten in 300facher Vergröfserung.

Beispiele des Auftretens der Kohlenstoffformen in verschiedenen Eisensorten [1]).

	Graphit und Temperkohle	Karbidkohle	Härtungskohle	Gesamtkohlenstoff
1. Tiefgraues Roheisen mit 2,77 v. H. Silicium, 0,80 v. H. Phosphor, 0,02 v. H. Schwefel, 1,30 v. H. Mangan . . .	3,33	0,44	0,00	3,77
2. Lichtgraues Roheisen mit 1,02 v. H. Silicium, 0,59 v. H. Phosphor, 0,09 v. H. Schwefel, 0,28 v. H. Mangan . . .	2,40	0,73	0,17	3,30
3. Gewöhnliches weifses Roheisen mit 0,72 v. H. Silicium, 0,10 v. H. Mangan, 0,20 v. H. Schwefel	0,16	1,88	0,54	2,58
4. Spiegeleisen mit 0,30 v. H. Silicium, 11,11 v. H. Mangan	0,00	3,09	1,41	4,50
5. Eisenmangan mit 2,07 v. H. Silicium, 46,54 v. H. Mangan	0,00	3,06	1,64	4,70
6. Hartgufs (weifser Teil) mit 0,33 v. H. Silicium, 0,15 v. H. Mangan, 0,38 v. H. Phosphor, 0,10 v. H. Schwefel . . .	0,19	2,48	0,58	3,20
7. Weifses Roheisen mit 0,87 v. H. Silicium, 0,10 v. H. Mangan				
a) ungeglüht	0,00	n. best.	n. best.	2,82
b) nach 108stündigem Glühen bei etwa 900° C.	1,55	n. best.	n. best.	2,29
8. Gegossener Stahl (Formgufs) mit 0,28 v. H. Silicium, 0,20 v. H. Mangan				
a) ungeglüht	0,00	0,62	0,36	0,98
b) nach 12stündigem Glühen bei etwa 800° C.	0,01	0,92	0,16	1,09
9. Geschmiedeter Stahl (Werkzeugstahl) mit 0,11 v. H. Silicium, 0,11 v. H. Mangan				
a) in gewöhnlicher Weise abgekühlt (naturhart)	0,00	0,71	0,22	0,93
b) durch Ablöschen in Wasser gehärtet	0,00	0,38	0,65	1,03
c) nach dem Härten bis zur blauen Anlauffarbe (welche in einer Temperatur von etwa 290° C. erscheint) angelassen	0,00	0,67	0,36	1,03
10. Weiches Flufseisen ohne Silicium mit 0,58 v. H. Mangan				
a) wie gewöhnlich abgekühlt . .	0,00	0,17	0,05	0,22
b) in Wasser abgelöscht	0,00	0,17	0,04	0,21
11. Manganstahl mit 10,61 v. H. Mangan				
a) naturhart	0,00	0,59	0,68	1,27
b) in Wasser abgelöscht	0,00	0,29	0,88	1,17

[1]) Die Proben 11 und 12 sind von Mukai (Studien über Manganstahl, Freiberg 1892), die übrigen von mir untersucht.

	Graphit- und Temper-kohle	Karbid-kohle	Härtungs-kohle	Gesamt-kohlen-stoff
12. Manganstahl mit 12,34 v. H. Mangan				
a) naturhart	0,00	0,77	0,43	1,20
b) in Wasser abgelöscht	0,00	0,41	0,75	1,16
13. Steierischer Werkzeugstahl mit 0,11 v. H. Silicium, 0,31 v. H. Mangan				
a) glühend geschmiedet bis zur Abkühlung unter Rotglut, alsdann durch rasche Hammerschläge aufs neue zum Erglühen gebracht	0,66	0,38	0,50	1,54
b) derselbe Stahl nach abermaligem Erhitzen auf Dunkelrotglut und Ablöschen in Wasser	0,63	0,34	0,52	1,49
14. Amerikanisches Gufsstück (sogenanntes black-heart-casting)				
a) durch anhaltendes Glühen mit darauf folgender langsamer Abkühlung zur Bildung von Temperkohle veranlast, hierauf abermals auf 920° C. erhitzt und an der Luft abgekühlt	1,42	0,78	0,05	2,25
b) wie Probe a erhitzt und in Wasser abgelöscht	1,47	0,31	0,45	2,23

Der Gehalt an Graphit und Temperkohle ist am bedeutendsten im grauen Roheisen (Probe 1 und 2) und verschwindet vollständig im ungeglühten schmiedbaren Eisen und in den meisten Sorten weifsen Roheisens. Die Probe 13 zeigt die Entstehung von Temperkohle beim Schmieden abgekühlten kohlenstofffreien Stahls bis zum Erglühen.

Karbidkohle findet sich in allen untersuchten Eisensorten. Dafs auch Hartgufs trotz der nach dem Giefsen eintretenden plötzlichen Abkühlung reich an Karbidkohle ist, findet leicht seine Erklärung, wenn man erwägt, dafs jene Abkühlung zwar ein rasches Erstarren der äufseren Kruste eines Abgusses herbeiführt und hierdurch die Graphitbildung innerhalb dieser Kruste behindert, nicht aber ein sofortiges Erkalten der Kruste unter diejenige Temperatur bewirkt, bei welcher das Karbid entsteht. Durch Wärmeabgabe von dem im Innern des Abgusses eingeschlossenen heifsern Metalle wird auch die graphitarme Kruste lange und stark genug erhitzt, um die Bildung reichlicher Mengen von Karbid zu ermöglichen.

Berechnet man mit Hilfe der oben gegebenen Verhältniszahl (1:15) aus dem gefundenen Karbidkohlenstoff die Menge des in dem erkalteten Eisen verteilten Karbids, so ergibt sich, dafs diese in dem untersuchten Spiegeleisen und Eisenmangan annähernd die Hälfte, in dem untersuchten Hartgufs etwa 40 v. H., in dem Weifseisen etwa 30 v. H. der Gesamteisenmenge beträgt. In dem un-

geglühten gegossenen Stahl beschränkt sich die Menge des Karbids auf etwa 10 v. H., in dem weichen Flufseisen auf nur etwa 2,6 v. H.

Die Härtungskohle fehlt gänzlich in dem an Graphit reichen tiefgrauen Roheisen, fast gänzlich im weichen Flufseisen (Probe 10) und in dem anhaltend geglühten Gufsstücke mit 2,38 v. H. Gesamtkohlenstoff (Probe 14a); das Verhältnis der Härtungskohle zur Karbidkohle ist in allen manganreichen Eisensorten (Proben 4, 5, 11, 12) am bedeutendsten. Die Umwandlungen, welche die Härtungskohle beim Glühen unter verschiedenen Verhältnissen erleidet, zeigen die Untersuchungen des geglühten weifsen Roheisens (Probe 7) und des gegossenen Stahls (Probe 8). Ersteres wurde lange Zeit in höherer Temperatur geglüht, und aus der ursprünglich vorhanden gewesenen Härtungs- und Karbidkohle ist zum gröfsten Teile Temperkohle geworden; bei dem kürzere Zeit währenden Glühen des gegossenen Stahls in weniger hoher Temperatur ist zwar ein reichlicher Teil der ursprünglich vorhandenen Härtungskohle in Karbidkohle übergegangen, Temperkohle aber hat sich nur in unbedeutender Menge gebildet.

Den Einflufs des Ablöschens (Härtens) und Wiedererwärmens (Anlassens) auf die Kohlenstoffformen lassen die Untersuchungen des Werkzeugstahls (Probe 9) und des Manganstahls (Probe 11 und 12) erkennen. Keine Veränderung der Kohlenstoffformen durch Ablöschen ist dagegen bei dem weichen Flufseisen (Probe 10) bemerkbar; man darf annehmen, dafs das Ablöschen in Wasser in einer Temperatur ausgeführt wurde, welche tiefer lag als diejenige, bei welcher die vorhandene Karbidkohle wieder in Härtungskohle übergeht.

Die Proben 13 und 14 liefern den Beweis, dafs der Gehalt an Temperkohle beim Ablöschen des zu Rotglut erhitzten Metalls unverändert bleibt. Während aber die Proben 14a und b den Einflufs des Ablöschens auf das Verhältnis zwischen Karbid- und Härtungskohle deutlich vor Augen führen, zeigen die Proben 13a und b ebenso wie die Probe 10, dafs ein Ablöschen aus zu niedriger Temperatur (Dunkelrotglut) keinen wesentlichen Einflufs auf jenes Verhältnis zu üben vermag.

Die Haltepunkte (kritischen Punkte) des kohlenstoffhaltigen Eisens.

Jene auf Seite 284 besprochenen, bei Abkühlung des erstarrten reinen Eisens bemerkbaren Haltepunkte, deren oberer den Übergang des γ-Eisens in β-Eisen und deren unterer den Übergang des β-Eisens in α-Eisen kennzeichnet, ändern ihre Lage, wenn das Eisen Kohlenstoff aufnimmt. Der obere Haltpunk sinkt um so tiefer, je reicher das Eisen an Kohlenstoff wird, bis der Kohlenstoffgehalt 0,95 v. H. beträgt. In Abbildung 86 auf Seite 335 zeigt die Linie AB die Temperaturen, bei welchen dieser Haltepunkt in Eisen mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten bemerkbar wird[1]). Die Lage

[1]) Nach Ermittelungen Heyns. Vergl. dessen unter Literatur genannten Arbeiten.

des zweiten Haltepunktes ist durch die Linie *FG* gekennzeichnet; da sie auch bei zunehmenden Kohlenstoffgehalte annähernd unverändert bleibt, müssen, wie das Schaubild erkennen läfst, schliefslich beide Haltepunkte zusammenfallen; der Kohlenstoffgehalt, bei welchem diese Vereinigung stattfindet, beträgt ungefähr 0,50 v. H. Schon bei einem niedrigeren Kohlenstoffgehalte erscheint aber in einer Temperatur von etwa 700° ein dritter Haltepunkt, durch die Linie *DE* gekennzeichnet, welcher mit zunehmendem Kohlenstoffgehalte deutlicher wird, ohne seine Lage zu ändern und in dem Punkte *B*, also bei einem Kohlenstoffgehalte von 0,95 v. H., mit den oberen beiden Haltepunkten zusammenfällt. Eisen mit 0,95 v. H. Kohlenstoff besitzt demnach nur einen einzigen Haltepunkt bei etwa 700° C. Dieser dritte Haltepunkt kennzeichnet, wie unten ausführlicher erörtert werden wird, das Zerfallen des noch vor-

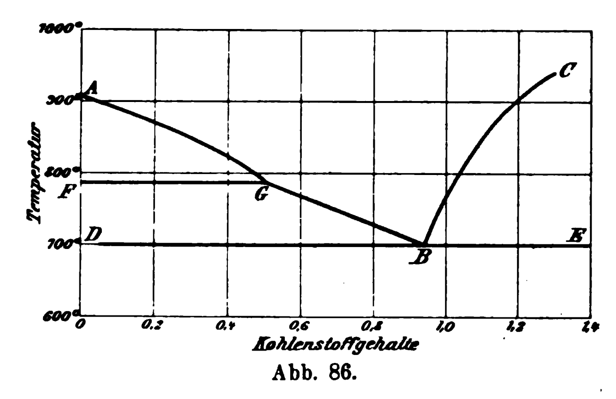


Abb. 86.

handenen kohlenstoffhaltigen Eisens in das Karbid Fe_3C und reines α-Eisen, ähnlich wie beim Erstarren von Kochsalzlösungen die hinterbliebene eutektische Lösung schliefslich in Eis und Kochsalz zerfällt (Seite 206).

Steigt der Kohlenstoffgehalt über 0,95 v. H., so treten wieder zwei Haltepunkte auf; der untere in der Linie *DE* hat dieselbe Bedeutung wie im kohlenstoffärmeren Eisen; der obere verrät ein Zerfallen der kohlenstoffreicheren Legierung in das Karbid Fe_3C und eine kohlenstoffärmere, welche ihrerseits erst wieder bei 700° C., dem untern Haltepunkte zerfällt. Die Wärmeentwicklung bei dem letzeren Vorgange ist mitunter so erheblich, dafs sie durch ein im Dunkeln erkennbares Wiedererglühen eines abkühlenden Stahlstabes auch dem Auge sich verrät[1]).

Findet Graphitbildung statt, so zeigt sich bei etwa 1070° C. ein Haltepunkt, welcher vermutlich diesen Vorgang anzeigt, einen zweiten Haltepunkt fand Osmond bei 1025° C.[2]).

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1885, Seite 611 (Brinell); 1887, Seite 447, aus Philosophical Magazine, Reihe 4, Bd. 46, Seite 472 (Barrett).

[2]) Comptes rendus, Bd. 106, Seite 1156. Alles noch flüssige Eisen zeigt außerdem einen Haltepunkt beim Erstarren, durch das Freiwerden der durch das flüssige Metall gebundenen Wärme bedingt.

Wird die Abkühlung eines über die Haltepunkte hinaus erhitzten kohlenstoffhaltigen Eisens (insbesondere Stahls) künstlich beschleunigt, z. B. durch Ablöschen in Wasser, so wird dadurch die Wärmeentwicklung, welche die Haltepunkte kennzeichnet, gehindert; erwärmt man aber den solcherart abgelöschten Stahl, so zeigt sich bereits bei 200° C. der Beginn einer Wärmeentwicklung, welche am deutlichsten bei 350° C. sich offenbart und bei etwa 520° C. ihr Ende erreicht. Der Vorgang geht Hand in Hand mit der durch die chemische Untersuchung nachgewiesenen Umwandlung der Härtungskohle in Karbidkohle bei diesem Erwärmen (Beispiel 9 auf Seite 332).

Durch die Anwesenheit eines dritten Körpers neben Eisen und Kohlenstoff kann, wie erwähnt, die Lage und Deutlichkeit der Haltepunkte beeinflufst werden. Ein hoher Mangangehalt (im Eisenmangan) kann sie gänzlich zum Verschwinden bringen [1]), ein minder hoher erniedrigt ihre Lage. Der untere Haltepunkt eines Stahl mit 0,42 v. H. Kohlenstoff und 1,00 v. H. Mangan liegt z. B. nach Osmonds Ermittelungen bei 625° C. Einen gleichen, zum Teil noch stärkeren Einflufs üben Wolfram und Nickel. Den unteren Haltepunkt eines Stahls mit 0,71 v. H. Kohlenstoff, 0,78 v. H. Mangan, 3,47 v. H. Wolfram fand Osmond schon bei etwa 515° C., denjenigen eines Nickelstahls mit 0,19 v. H. Kohlenstoff neben 3,82 v. H. Nickel bei etwa 560° C. Je stärker das wolframhaltige Eisen (der Wolframstahl) erhitzt wird, bevor die Abkühlung beginnt, desto tiefer sinkt nach Osmonds Beobachtungen der untere Haltepunkt. In allen diesen Fällen genügt demnach eine geringere Erwärmung, um die Vorgänge ins Leben zu rufen, welche bei dem unteren Haltepunkte sich vollziehen. Ohne erheblichen Einflufs auf die Lage der Haltepunkte bleiben Chrom und Phosphor; ein Siliciumgehalt erhöht die Lage des unteren Haltepunkts [2]).

Das Kleingefüge kohlenstoffhaltigen Eisens.

Bei der mikrographischen Untersuchung kohlenstoffhaltigen Eisens ergibt sich im wesentlichen folgendes.

Im Eisen mit weniger als 0,95 v. H. Kohlenstoff, welches langsam abgekühlt wurde, sind zwei verschiedene Bestandteile erkennbar. Der eine ist weich, kristallinisch körnig und wird Ferrit genannt. Er besteht aus kohlenstofffreiem Eisen und bildet sich bei den Haltepunkten, welche in Abbildung 86 (Seite 335) durch die Linie *AB* gekennzeichnet sind. In den

---

[1]) Wenn man hieraus folgern könnte, dafs der Kohlenstoff der Eisenmangane auch bei langsamer Abkühlung vollständig im Zustande der Härtungskohle verbleibt, so wird doch diese Annahme durch die auf Seite 332 mitgeteilte Zusammensetzung eines Eisenmangans nicht bestätigt.

[2]) Untersuchungen Osmonds über die Einflüsse dritter Körper: Comptes rendus, Bd. 104, Seite 985, Bd. 110, Seite 242 und 346; ferner F. Osmond, Transformations du fer et du carbone, Seite 48. Über die Lage des unteren Haltepunkts des Wolframstahls nach Erhitzung auf verschiedene Temperaturen: The Journal of the Iron and Steel Institute 1903, II, Seite 65.

Temperaturen oberhalb dieser Linien ist nur eine gleichmäfsige Lösung des Kohlenstoffs im γ-Eisen vorhanden; bei dem Haltepunkte, welcher dem vorhandenen Kohlenstoffgehalte entspricht, scheidet aus dieser kohlenstofffreies β-Eisen aus, welches nun bei der Temperatur der Linie *FG* (780° C.) sich in α-Eisen umwandelt. Das bei dieser Ausscheidung kohlenstofffreien Eisens hinterbleibende γ-Eisen ist nun aber entsprechend kohlenstoffreicher geworden; die Folge davon ist, dafs sein Haltepunkt gemäfs dem Verlaufe der Linie *AB* sinkt, und dafs also bei fortschreitender Abkühlung unausgesetzt wiederum Ausscheidung von Ferrit stattfindet. Ist der Kohlenstoffgehalt des noch hinterbliebenen γ-Eisens auf 0,5 v. H. angereichert, oder besafs das Eisen schon ursprünglich einen Kohlenstoffgehalt von 0,5 v. H. oder darüber, so scheidet aus der Lösung

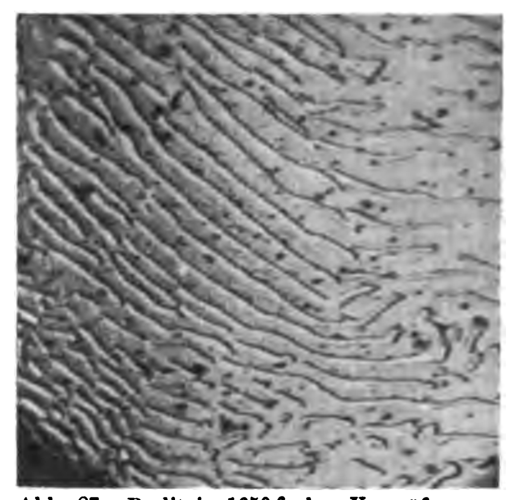


Abb. 87. Perlit in 1650facher Vergröfserung.

nicht erst β-Eisen, sondern sofort α-Eisen als Ferrit aus (zwischen den Punkten *G* und *B* der Abbildung 86).

Ist die Temperatur nun bis auf 700° C., also bis zur Linie *DB* gesunken, so findet kein weiteres Zerfallen statt; die übriggebliebene Masse erstarrt im ganzen und bildet nun den zweiten Gefügebestandteil, den man wegen seines perlmutterartigen Glanzes Perlit genannt hat. Er ist härter als Ferrit und erscheint deshalb auf reliefpolierter Fläche erhaben[1]). Sein Kohlenstoffgehalt beträgt stets 0,95 v. H. Der Perlit ist demnach als eine eutektische Eisenkohlenstofflegierung zu betrachten, welche in dem bereits erstarrten Metalle während des Abkühlens und Ausscheidens von Ferrit hinterbleibt, und die Linie *DBE* wird deshalb die eutektische Linie genannt. Wie aber die eutektischen Lösungen, z. B. die eutektische Chlornatriumlösung (Seite 206), beim Erstarren nicht

[1]) Das Reliefpolieren geschieht auf einer weichen elastischen Unterlage, wobei die weicheren Teile durch das Polierpulver stärker als die härteren angegriffen werden.

mehr als Lösungen, sondern als innige Gemenge der Bestandteile hinterbleiben, so läfst auch der Perlit bei entsprechend starker Vergröfserung zwei verschiedene Bestandteile erkennen: reines Eisen — Ferrit — und das auf Seite 326 besprochene Eisenkarbid Fe_3C, welches in der Metallographie Zementit genannt wird. Abbildung 87 auf Seite 337 zeigt bei 1650facher Vergröfserung das Aussehen von Perlit[1]). Die Probe entstammt einem weifsen, längere Zeit geglühten Roheisen mit 2,16 v. H. Kohlenstoff, 0,54 v. H. Mangan, 0,16 v. H. Silicium, 2,28 v. H. Phosphor. Das Licht fällt von links unten (↗) ein. Die Schatten an der rechten Seite der länglichen, von oben links nach unten rechts verlaufenden Streifen lassen demnach erkennen, dafs diese erhaben aus der Grundmasse heraustreten. Sie bilden den härteren Bestandteil, den Zementit, während die weichere Grundmasse aus Ferrit besteht. Da der Perlit 0,95 v. H. Kohlenstoff, der Zementit (Fe_3C) 6,66 v. H. Kohlenstoff enthält, der Ferrit aber kohlenstofffrei ist, besteht der Perlit regelmäfsig aus etwa 86 Teilen Ferrit neben 14 Teilen Zementit.

Aus dem Gesagten folgt nun, dafs die Menge des Perlits um so geringer, die Menge des Ferrits um so beträchtlicher ist, je weniger Kohlenstoff das Eisen enthält. Zur Verdeutlichung mögen die Abbildungen 88—92 dienen. Abbildung 88 zeigt ein Eisen mit 0,05 v. H. Kohlenstoff, 0,37 v. H. Mangan, 0,069 v. H. Phosphor und frei von Silicium. Es besteht aus einer hellen Grundmasse von Ferrit, in welcher nur vereinzelte dunkle Perlitinselchen eingestreut sind. Abbildung 89 gibt in stärkerer Vergröfserung eine dieser Perlitinseln wieder. Abbildung 90 zeigt ein Eisen mit 0,5 v. H. Kohlenstoff, 0,06 v. H. Silicium, 0,05 v. H. Mangan, Spur Phosphor. Das Gefüge besteht zur Hälfte aus hellem Ferrit, zur anderen Hälfte aus dunklem Perlit. In Abbildung 91 ist dasselbe Eisen in stärkerer Vergröfserung dargestellt, welche die Eigenart des Perlits als ein Gemenge von Zementit und Ferrit wiederum deutlich erkennen läfst. Die freien Felder *fff* sind der selbständig vor dem Perlit entstandene Ferrit, der mittlere Teil Perlit, wie auch ein Vergleich mit Abbildung 87 erkennen läfst.

Beträgt der Kohlenstoffgehalt 0,95 v. H., so verschwindet der frei ausgeschiedene Ferrit gänzlich, und man gewahrt nur ein einziges Gefügebild, den Perlit (Abb. 92).

Im Eisen mit mehr als 0,95 v. H. Kohlenstoff gewahrt man nach langsamer Abkühlung wiederum zwei Gefügebestandteile. Bei den durch die Linie *BC* in Abbildung 86 bezeichneten Haltepunkten scheidet sich Zementit, das Karbid Fe_3C, aus. Der Verlauf des Zerfallens der oberhalb *BC* vorhandenen Lösung von Kohlenstoff im γ-Eisen ist hier umgekehrt wie im kohlenstoffärmeren Eisen: die Lösung wird, während Zementit austritt, immer ärmer an Kohlenstoff, und ihr Haltepunkt sinkt, bis der Kohlenstoffgehalt nur noch 0,95 v. H. beträgt. Nunmehr ist wieder der eutektische Punkt *B* erreicht, und die noch vorhandene Eisen-

---

[1]) Die Abbildungen 87—101 verdanke ich dem Königlichen Materialprüfungsamte in Grofs-Lichterfelde West, die Erläuterungen dazu der Güte des Herrn Professor Heyn.

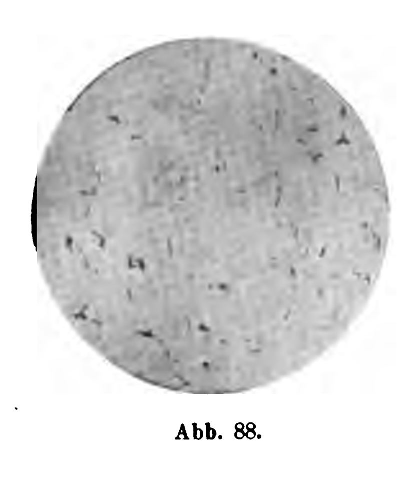


Abb. 88.



Abb. 89.



Abb. 90.



Abb. 91.



Abb. 92.

kohlenstofflegierung nimmt die Form des Perlits, des zweiten Gefügebestandteils, an. Nach dem Reliefpolieren der Proben erscheint der Zementit erhaben über dem Perlit; unter senkrechter Beleuchtung silberweifs. Durch Ätzen mit schwachen Säuren wird er nicht angegriffen. Abbildung 93 zeigt in 365 facher Vergröfserung das Aussehen eines weifsen Roheisens mit 2,16 v. H. Kohlenstoff. Das Licht fällt, wie bei den meisten Abbildungen, von links ein. Die hellen erhaben heraustretenden Adern *ccc* sind Zementit, eingelagert in die aus Perlit bestehende Grundmasse. Ein Teil des Perlits dieser Probe ist bei 1650 facher Vergröfserung bereits in Abbildung 87 auf Seite 337 dargestellt.

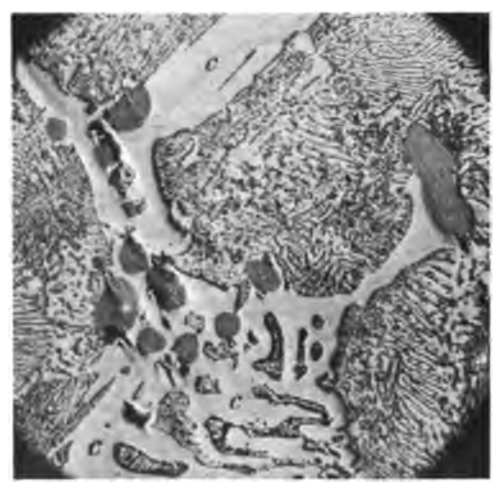


Abb. 93. 365 fache Vergröfserung. Cementit und Perlit.

Die Vorgänge beim Zerfallen der Kohlenstofflösung im γ-Eisen ändern sich jedoch, und somit wird auch das Gefügebild ein anderes, wenn die Abkühlung nicht langsam, sondern plötzlich, z. B. durch Ablöschen in Wasser, erfolgt. Man kann hierbei nach Mafsgabe der Temperatur, welche das Eisen vor dem Ablöschen besafs, im wesentlichen drei Fälle unterscheiden.

1. Das Ablöschen erfolgt bei Temperaturen, welche oberhalb des Linienzuges *ABC* (Abb. 86) liegen. Das vollständige Zerfallen der Kohlenstofflösung im γ-Eisen, welches bei langsamer Abkühlung innerhalb der Dreiecke *ABD* und *CBE* sich vollzog, wird durch die plötzliche Abkühlung behindert; ein neuer Gefügebestandteil, nach A. Martens, dem Leiter des Königlichen Materialprüfungsamts in Grofs-Lichterfelde, Martensit genannt, tritt auf. Er besteht aus der ohne Zerfallen erkalteten Eisenkohlenstofflegierung mit einem gröfseren oder geringeren Gehalte an Härtungskohle und erscheint unter dem Mikroskop als ein Aufbau feiner sich kreuzender Nadeln. Der Perlit verschwindet, wenn der Martensit erscheint. In Abbildung 94 ist ein Flufseisen mit 0,21 v. H. Kohlenstoff nach dem Ablöschen bei 900° C. in Wasser,

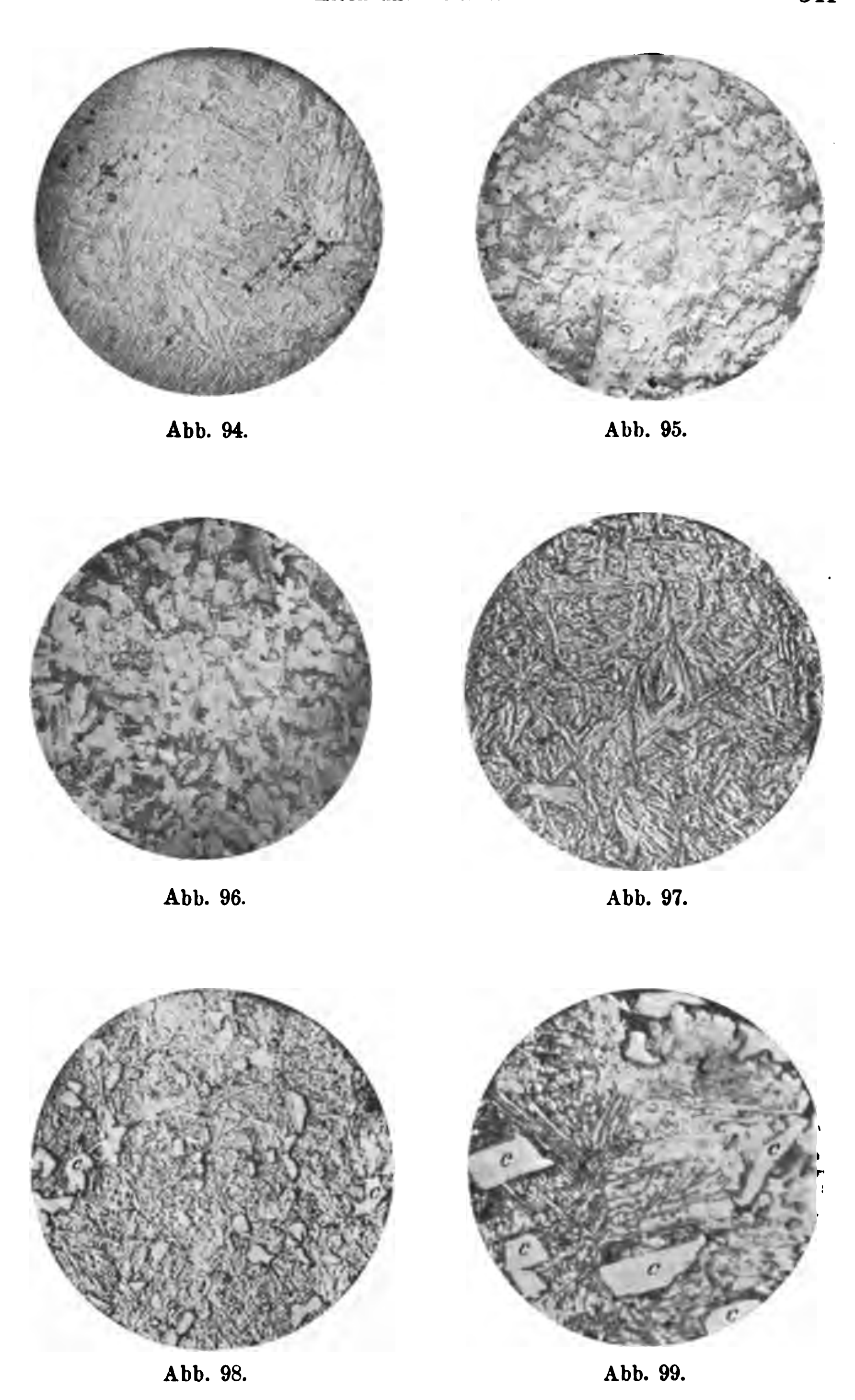


Abb. 94. Abb. 95.

Abb. 96. Abb. 97.

Abb. 98. Abb. 99.

in Abbildung 97 ein bei 1097° C. in Wasser abgelöschter Zementstahl mit 1,8 v. H. Kohlenstoff dargestellt. Das Gefüge beider Proben besteht nur aus Martensit.

2. Das Ablöschen erfolgt bei Temperaturen, die innerhalb der Dreiecke *ABD* und *CBE* liegen. In diesem Falle ist bei Eisensorten mit weniger als 0,95 v. H. Kohlenstoff bereits teilweise Ferritauscheidung, bei Eisen mit mehr als 0,95 v. H. Kohlenstoff teilweise Zementitausscheidung aus der festen Kohlenstofflösung im γ-Eisen eingetreten, bevor das Ablöschen erfolgte. Dieses kann daher nur auf die noch nicht zerfallene Eisenkohlenstofflegierung einwirken, welche durch die rasche Abkühlung vor dem Zerfallen geschützt bleibt und in der Form des Martensits verharrt. In Legierungen mit weniger als 0,95 v. H. Kohlenstoff tritt demnach neben Martensit Ferrit auf, in Legierungen mit mehr als 0,95 v. H. Kohlenstoff neben Martensit Zementit. Die Menge des Martensits ist in jedem Falle um so gröfser, je näher die Ablöschtemperaturen dem Linienzuge *ABC* liegen, oberhalb dessen nur Martensit gebildet wird. Am geringsten fällt der Gehalt an Martensit aus, wenn das Ablöschen dicht oberhalb der Linie *DE*, also bei einer Temperatur von wenig über 700° C., erfolgt, und zwar ist die Menge des Martensits in diesem Falle gleich der bei langsamer Abkühlung erfolgenden Menge des Perlits. Die Abbildungen 95, 96 und 98 lassen den Einfluſs des Ablöschens bei diesen Temperaturen erkennen. In Abbildung 95 (bei 800° C. abgelöschtes Fluſseisen mit 0,21 v. H. Kohlenstoff) ist der dunkle Bestandteil Martensit; er nimmt etwa 44 v. H. der gesamten Fläche ein, während auf den helleren Bestandteil, den Ferrit, 56 v. H. der Fläche entfallen. In einer um 40° C. niedrigeren Temperatur (760° C.) ist die Probe desselben Eisens Abbildung 96 abgelöscht. Die Menge des vor dem Ablöschen bereits gebildeten Ferrits (des helleren Bestandteils) ist hier bedeutend gröfser und nimmt etwa 78 v. H. der Gesamtfläche ein, während die darin verstreuten Martinsitinseln nur 22 v. H. der Fläche bedecken. Bei langsamer Abkühlung (ohne Ablöschen) würde das Gefüge aus etwa 80 v. H. Ferrit und 20 v. H. Perlit bestanden haben. Das Gefüge des härteren Stahls dagegen (Abb. 98), welcher in einer nur wenig unterhalb der Linie *BC* liegenden Temperatur (900° C.) abgelöscht wurde, besteht vorwiegend aus Martensit, in welchem die erhaben vortretenden hellen Zementitkristalle *cc* . . verstreut sind.

3. Das Ablöschen in Wasser geschieht unterhalb der Linie *DE*, also in einer unterhalb 700° C. liegenden Temperatur. Dann hat sich der bei langsamer Abkühlung stattfindende Vorgang, das Zerfallen der Eisenkohlenstofflösung in Ferrit und Perlit oder in Zementit und Perlit, bereits vollständig vollzogen, und das Ablöschen vermag keinen Einfluſs mehr zu üben. Das Gefüge des in dieser Temperatur abgelöschten Eisens ist das nämliche wie nach langsamer Abkühlung. Daher gewahrt man in Abb. 99, das Gefüge des bei 650° C. abgelöschten Stahls mit 1,8 v. H. Kohlenstoff darstellend, keinen Martensit, sondern nur Perlit mit den darin verstreuten Zementitkristallen.

Eine besondere Stellung nimmt die Eisenkohlenstofflegierung mit 0,95 v. H. Kohlenstoff ein. Hier scheidet, wie ein Blick auf Abb. 86 (Seite 335) erkennen lässt, der Fall 2 aus, denn ein Ablöschen in Temperaturen zwischen den Linienzügen *BC* und *DE* ist unmöglich, weil der dieser Legierung entsprechende Punkt *B* beiden Linienzügen angehört. Wird die Legierung oberhalb 700° C. abgelöscht, so besteht sie nur aus Martensit, beim Ablöschen unterhalb 700° C. nur aus Perlit (vergl. oben Abb. 92).

Zwischen der in vorstehendem gekennzeichneten, ausgeprägten Form des Martensits und der des Perlits bestehen indes Übergangsstufen, welche bei der mikroskopischen Untersuchung vornehmlich durch die dunklere Farbe von dem Martensit sich unterscheiden, wenn man die entsprechend vorgerichtete Fläche mit einem Gemische von Salzsäure und Alkohol ätzt. Über ihre chemische Zusammensetzungen liegen Untersuchungen nicht vor; es ist jedoch nicht zweifelhaft, dafs sie neben der Härtungskohle des reinen Martensits Karbidkohle enthalten, und zwar um so mehr, je näher sie dem Perlit stehen. Tritt ein solcher Gefügebestandteil neben Martensit auf, so wird er Troostit genannt (nach dem französischen Forscher Troost), findet er sich neben Perlit, so heifst er Sorbit (nach dem Engländer Sorby, einem der Begründer der Metallographie). Diese Gefügebestandteile entstehen vornehmlich, wenn die Unterkühlung des glühenden Eisens unter 700° C. weniger plötzlich von statten geht, als zur ausschliefslichen Bildung von Martensit erforderlich ist, oder weniger langsam, als dafs nur Perlit sich bilden könnte. Löscht man z. B. ein Eisen- oder Stahlstück in kaltem Wasser ab, so wird zwar an den Rändern und Ecken nur Martensit bemerkbar werden, nach der Mitte zu aber Troostit in um so reichlicherer Menge erscheinen, je dicker der Gegenstand ist. Die gleiche Erscheinung zeigt sich, wenn man zum Ablöschen statt kalten Wassers heifses Wasser oder Öl verwendet; bewirkt man aber die Unterkühlung durch Eintauchen in geschmolzenes, nur wenig über seine Schmelztemperatur (330° C.) erhitztes Blei, so besteht das Gefüge im wesentlichen aus Sorbit. Aus dem bei plötzlicher Unterkühlung gebildeten Martensit entsteht ebenfalls Sorbit oder ein sorbitartiger Gefügebestandteil, wenn man das abgelöschte Metall auf 200—300° C. erwärmt (anläfst), und mit dieser Umwandlung des Gefüges geht eine Umwandlung der Härtungskohle in Karbidkohle Hand in Hand (Seite 331).

Dieses Auftreten von Übergangsstufen zwischen Martensit und Perlit erklärt auch die Tatsache, dafs gewöhnlich, wie die auf Seite 332 gegebenen Beispiele erweisen, auch in dem langsam abgekühlten Metalle neben der Karbidkohle kleine Mengen von Härtungskohle und in dem rasch abgekühlten neben der Härtungskohle kleine Mengen von Karbidkohle sich finden.

Tritt beim Erstarren des Eisens Graphitbildung ein (im grauen Roheisen, vergl. Seite 322), so gewahrt man bei mikroskopischer Untersuchung dunkle, die Metallfläche durchsetzende Streifen oder Adern, aus Graphitblättern bestehend. Ist nur so viel Graphit ausgeschieden, dafs die Menge des nichtgraphitischen Kohlenstoffs mehr als etwa 0,95 v. H. beträgt, so gewahrt man

neben dem Graphit Perlit und Zementit. Abbildung 100 zeigt in 123 facher Vergröfserung ein solches Eisen; *c* ist Zementit, *p* Perlit. Die schwarzen Adern sind Graphit. War dagegen die Graphit-

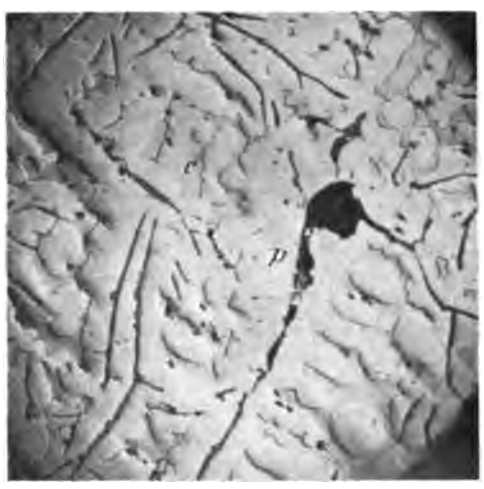


Abb. 100. 123fache Vergrößerung. Lichtgraues Roheisen.

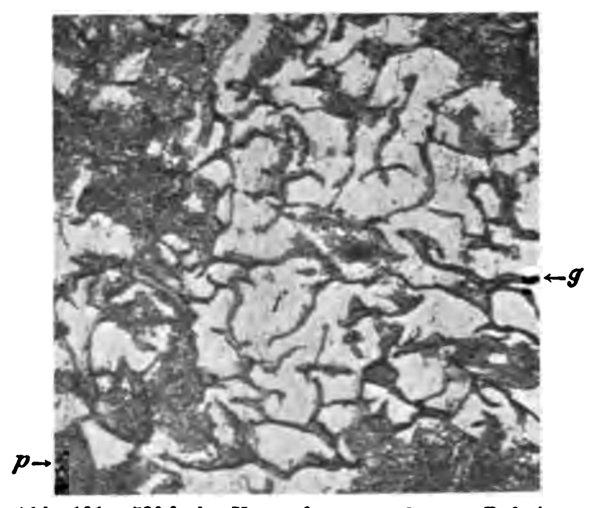


Abb. 101. 580fache Vergrößerung. Graues Roheisen.

bildung so reichlich, dafs der Gehalt an nichtgraphitischem Kohlenstoff weniger als 0,95 v. H. beträgt, so besteht das Gefüge aus Graphit, Ferrit und Perlit. In Abbildung 101 ist in 580facher Vergröfserung das Gefügebild eines grauen Roheisens mit 3,70 v. H. Gesamtkohlenstoff, 3,46 v. H. Graphit, also nur 0,24 v. H. nichtgraphitischem Kohlenstoff wiedergegeben. *g* ist Graphit, *f* Ferrit, *p* Perlit. In den Ferrit ist der Siliciumgehalt des Roheisens (1,29 v. H.) eingegangen.

Enthält das Eisen gröfsere Mengen eines fremden Metalls, z. B. Mangans oder Nickels, so ändert sich das Gefüge. An Stelle des Martensits oder neben dem Martensit tritt ein Gefügebestandteil von polyedrischer Form auf, bisweilen von Troostit eingehüllt; die Perlitbildung wird auch bei langsamer Abkühlung schwächer oder hört ganz auf. Da die Untersuchungen über diese Einflüsse fremder Metalle noch nicht abgeschlossen sind, möge hinsichlich letzterer auf die Literatur, z. B. auf die unter Literatur genannten Arbeiten Guillets, verwiesen werden.

Einflüsse des Kohlenstoffgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Wie aus den Darlegungen über die Eigentümlichkeiten der verschiedenen Kohlenstoffformen sich folgern läfst, kann der Einflufs, welchen ein bestimmter Gesamtkohlenstoffgehalt auf das Verhalten des Eisens ausübt, abweichend sein. Er hängt ab von den gegenseitigen Gewichtsverhältnissen, in welchen die Kohlenstoffformen anwesend sind. Ein und dasselbe Eisen kann verschiedene Eigenschaften erhalten, je nachdem sein Kohlenstoffgehalt beim Abkühlen die eine oder andere Form annimmt.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch den Kohlenstoffgehalt erniedrigt. Reines Eisen schmilzt nach Roberts-Austen, wie schon erwähnt, bei 1530 ° C. mit 4,1 v. H. Kohlenstoff, welches sonstige Fremdkörper nur in unerheblicher Menge enthält, nach Osmond bei 1085 ° C.[1]). Je ein Hundertstel Kohlenstoff erniedrigt demnach die Schmelztemperatur um ungefähr 100 ° C.; ob aber nicht bei Zunahme des Kohlenstoffgehalts die niedrigste Schmelztemperatur schon erreicht wird, bevor der gesamte, dem Sättigungsgrade entsprechende Kohlenstoffgehalt aufgenommen ist, und ob nicht alsdann die Schmelztemperatur von diesem Punkte an mit dem Kohlenstoffgehalte steigt, ist bis jetzt nicht mit Sicherheit nachgewiesen worden[2]).

Die verschiedenen Kohlenstoffformen verhalten sich indes auch in dieser Beziehung nicht ganz übereinstimmend. Das flüssige Eisen enthält nur Härtungskohle; die Karbidkohle geht bei einer Temperatur, welche weit unterhalb des Schmelzpunktes liegt, in Härtungskohle über. Graphit dagegen kann erst gelöst werden, wenn das Eisen zu erweichen beginnt. Je reicher aber das Eisen an Graphit ist, desto niedriger ist sein Gehalt an jenen erstgenannten Kohlenstoffformen, desto später tritt beim Erhitzen der Zeitpunkt ein, wo aller Kohlenstoff gelöst ist. Daher besitzt graphitreiches Eisen eine höhere Schmelztemperatur als graphitarmes von demselben Kohlenstoffgehalte; graues Roheisen, welches rasch abgekühlt wurde und infolge davon einen geringeren Graphitgehalt besitzt, schmilzt nach Beobachtungen im Betriebe, welche

---

[1]) Transformations du fer et du carbone dans les fers, les aciers et les fontes blanches, Seite 28. Der Gehalt des untersuchten Eisens an sonstigen Fremdkörpern betrug: Si = 0,22, S = 0,04, P = 0,02, Mn 0,12.

[2]) Über Beobachtungen, welche eine solche Vermutung nahelegen, vergleiche „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 705.

auch durch wissenschaftliche Versuche Bestätigung fanden [1]), leichter als das nämliche Roheisen bei langsamer Abkühlung.

Die Härte des Eisens wächst mit zunehmendem Gehalte an Härtungskohlenstoff. Auch das Eisenkarbid ist härter als reines Eisen; aber es durchsetzt als Zementit aderförmig oder in einzelnen Anhäufungen das Metall oder es bildet mit reinem Eisen Perlit, und sein Einfluſs auf die Härte eines ganzen Eisenstücks tritt deshalb nicht so deutlich hervor wie der Einfluſs der in der Hauptmasse enthaltenen Härtungskohle. Graphit und Temperkohle aber sind weiche Körper, eingebettet in dem Metalle, dessen Zusammenhang unterbrechend, und je höher der Gehalt des Eisens daran ist, desto niedriger ist bei gegebenem Gesamtkohlenstoffgehalte sein Gehalt an Karbid- und Härtungskohle, desto weicher ist es.

Hieraus erklärt sich, daſs weiſses Roheisen, welches einen gröſseren Gehalt an Härtungs- und an Karbidkohle besitzt als ungehärteter Stahl, diesen an Härte übertrifft, und daſs Stahl härter ist als Schmiedeeisen; daſs beim Ablöschen (Härten) glühenden Stahls sein Härtegrad erhöht, beim Anlassen wieder verringert wird. Gehärteter, kohlenstoffreicher Stahl läſst sich selbst zur Bearbeitung manchen weiſsen Roheisens verwenden. Nicht deutlich tritt dieser Einfluſs des Ablöschens bei ganz kohlenstoffarmem Eisen hervor, weil hier das Verhältnis zwischen Karbid- und Härtungskohle sich auch beim Ablöschen nicht erheblich ändert (Analyse 10 auf Seite 332). Auch beim weiſsen Roheisen zeigt sich dieser Einfluſs nicht so deutlich wie beim Stahle, da es ohnehin so reich an Härtungskohle ist, daſs eine erhebliche Zunahme durch plötzliche Abkühlung nicht mehr erreichbar ist [2]).

Auſserdem liefern jene Unterschiede in dem Einflusse der Kohlenstoffformen auf den Härtegrad des Eisens die Erklärung dafür, daſs graues Roheisen weniger hart ist als weiſses und als Stahl, im allgemeinen um so weniger hart, je höher sein Graphitgehalt ist; ferner, daſs rasche Abkühlung des erstarrenden grauen Roheisens (Eingieſsen in eiserne Guſsformen) seine Härte erhöht, und endlich, daſs Ausglühen den Härtegrad aller Eisensorten erniedrigt, indem die Härtungskohle in Karbidkohle, diese bei längerem Glühen in hoher Temperatur in Temperkohle umgewandelt wird. Selbst weiſses Roheisen wird feilbar durch ausreichend langes Glühen in Hellrotglut.

Die Festigkeit des Eisens nimmt zunächst mit seinem Gehalte an Härtungskohle zu, und mit der Festigkeit wächst die Sprödigkeit. Während aber die Zunahme der Sprödigkeit mit der Zunahme des Gehalts an Härtungskohle Schritt hält, erreicht die Festigkeit ziemlich früh ihr höchstes Maſs, und bei fernerer Anreicherung des Gehalts an Härtungskohle verringert sich die Festigkeit rasch. Auch ein Gehalt an Karbidkohle vermag die Festigkeit des Eisens zu erhöhen. Bei welchem Gehalte an

---

[1]) Versuche Wests: The Iron Trade Review, Bd. 30, Seite 30; daraus in „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 214.

[2]) Untersuchungen über den Einfluſs des Ablöschens auf weiſses Roheisen fehlen, da die Frage ohne besondere Bedeutung ist.

Härtungskohle oder an Karbidkohle allein das höchste Maſs der Festigkeit erreicht wird, ist kaum zu ermitteln; auch ist dieses Maſs von der verschiedenen Art der Beanspruchung (Zug, Druck usw.) abhängig. Man pflegt anzunehmen, daſs diejenigen Eisensorten die gröſste Festigkeit aufweisen, welche einen Gesamtkohlenstoffgehalt von etwa 1 v. H., also bei gewöhnlicher Abkühlung einen Gehalt an Karbidkohle von ungefähr 0,75 v. H., an Härtungskohle von 0,25 v. H. besitzen. Solches Eisen besitzt aber nur ein geringes Maſs von Zähigkeit. Es ist spröde; das reinste Eisen ist das zäheste (Seite 284). Stahl ist fester, aber auch spröder als Schmiedeeisen.

Weiſses Roheisen, dessen Kohlenstoffgehalt jenes Maſs bereits weit überschritten hat, ist nicht nur erheblich spröder, sondern auch weniger fest als schmiedbares Eisen.

Graphit verringert als eingelagerter, wenig fester Körper auch die Festigkeit des Eisens, in welchem er auftritt; um so erheblicher, je groſsblättriger er ist. Weniger deutlich wirkt die in feinerer Verteilung auftretende Temperkohle. Da aber ein Übermaſs von Härtungs- und Karbidkohle ebenfalls benachteiligend auf die Festigkeitseigenschaften einwirkt, kann eine mäſsige Graphitbildung in kohlenstoffreichem Eisen dessen Festigkeit und Zähigkeit erhöhen. Graues Roheisen ist daher weniger spröde und meistens fester als weiſses; dagegen spröder und weniger fest als schmiedbares Eisen, dessen Zusammenhang nicht durch die Graphitblätter unterbrochen ist. Rasche Abkühlung geschmolzenen grauen Roheisens kann, wenn dieses stark zur Graphitbildung neigt, dessen Festigkeit erhöhen: wird aber die Graphitbildung allzusehr dadurch eingeschränkt, so kann der entgegengesetzte Erfolg eintreten, und in beiden Fällen wird das Metall spröder.

Ablöschen glühenden schmiedbaren Eisens steigert dessen Festigkeit und Sprödigkeit; je höher der Kohlenstoffgehalt ist, desto deutlicher zeigt sich dieser Einfluſs. Da aber auch bei kohlenstofffreiem Eisen ein gleicher Erfolg des Ablöschens wahrnehmbar ist (Seite 285), läſst sich nicht genau bestimmen, welcher Anteil der durch das Ablöschen bewirkten Umwandlung der Eisenform (Seite 287) und welcher der Umwandlung der Kohlenstoffform zuzuschreiben sei.

Ausglühen rasch abgekühlten kohlenstoffhaltigen Eisens erhöht dessen Zähigkeit (verringert die Sprödigkeit); beim Roheisen, zumal dem weiſsen Roheisen, kann auch die Festigkeit dadurch erhöht werden, indem das Übermaſs des Gehalts an Härtungskohle dadurch verringert wird.

Abscheidung des Kohlenstoffs aus dem Eisen.

Daſs durch Verbrennung der Kohlenstoff des Eisens abgeschieden werden kann, und welche Rolle hierbei die Temperatur und die Anwesenheit anderer Körper spielen, hat bereits auf Seite 300 Erörterung gefunden. Als Oxydationsmittel können freier Sauerstoff

der Luft dienen (z. B. beim Bessemer- und Thomasverfahren) oder sauerstoffreiche Oxyde anderer Körper, welche einen Teil ihres Sauerstoffgehalts zur Verbrennung des Kohlenstoffgehalts abgeben, wenn sie in entsprechend hoher Temperatur mit dem kohlenstoffhaltigen Eisen in ausreichend innige Berührung gebracht werden. Im Betriebe benutzt man hierfür vornehmlich das Eisenoxyd Fe_2O_3, welches dabei in eine niedrigere Oxydationsstufe sich umwandelt (Frischfeuerbetrieb, Puddeln, Glühfrischen).

Dafs die Beobachtung früherer Forscher, nach welchen einem kohlenstoffhaltigen Eisen durch Glühen im trockenen Wasserstoff- und sogar Stickstoffstrome sich Kohlenstoff entziehen lasse [1], später keine Bestätigung gefunden habe, wurde schon auf Seite 330 erwähnt.

5. Eisen und Silicium.

Reduktion des Siliciums und dessen Formen im Eisen.

Obgleich Kieselsäure (SiO_2) auch in Weifsglut ohne weiteres nicht durch Kohlenstoff zu Silicium reduziert wird, gelingt doch die Reduktion ziemlich leicht, wenn aufser Kohle auch metallisches Eisen zugegen ist, mit welchem das reduzierte Silicium im Entstehungszustande sich vereinigen kann. Ob hier die freie Kohle unmittelbar als Reduktionsmittel dient, oder ob die vom Eisen aufgenommene Kohle — welche bei der Berührung des Eisens mit freier Kohle stets Ergänzung finden kann — die Reduktion bewirkt, mufs unentschieden bleiben. Tatsache ist es, dafs sogar beim Schmelzen kohlenstoffhaltigen Eisens in Gefäfsen, deren Wände Kieselsäure enthalten, durch einen Teil des Kohlenstoffgehalts im Eisen Silicium aus den Wänden reduziert und in das Eisen geführt wird [2].

Auch Mangan vermag als Reduktionsmittel für Kieselsäure zu dienen, wobei Manganoxydul gebildet und von einem anderen Teile der Kieselsäure verschlackt wird:

$$2\,Mn + SiO_2 = 2\,MnO + Si.$$

Daher verringert sich der Mangangehalt und erhöht sich der Siliciumgehalt, wenn flüssiges manganhaltiges Eisen längere Zeit in Berührung mit Kieselsäure oder kieselsäurehaltigen Körpern (den Wänden eines Tiegels, des Schmelzofens) sich befindet [3].

Diese Vorgänge deuten auf eine starke Neigung des Eisens hin, Silicium aufzunehmen. Durch Schmelzen von Eisen mit Kohle und Quarzpulver lassen sich solche Legierungen mit mehr als 16 v. H. Silicium darstellen; ebenso wird beim Schmelzen von Eisenoxyden mit Kohle und Quarzpulver Silicium neben Eisen

[1] Versuche Forquignons: Annales de chimie et de physique, Reihe 3, Bd. 23, Seite 433; Versuche F. Osmonds: Transformations du fer et du carbone, Seite 66.

[2] Comptes rendus, Bd. 76, Seite 483 (Troost und Hautefeuille).

[3] Beispiele: Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen aus dem Jahr 1880, Seite 7; „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 604; 1885, Seite 371; 1886, Seite 698; Comptes rendus, Bd. 76 (1875), Seite 483.

reduziert und von diesem aufgenommen, sofern die ausreichende Menge Kohle zugegen ist. Im elektrischen Ofen stellt man Siliciumeisen mit mehr als 50 v. H. Silicium dar.

Auch aus kieselsäurehaltigen Schlacken kann bei reduzierendem Schmelzen mit Kohle und Eisen Silicium an das Eisen abgegeben werden, und zwar um so leichter, je weniger basisch die Schlacken sind, je weniger stark demnach ihre chemische Verwandschaft zur Kieselsäure ist. Hohe Temperatur aber befördert die Siliciumreduktion, und aus diesem Grunde kann selbst aus stark basischen Schlacken durch gleichzeitige Einwirkung von Kohle und Eisen eine nicht unbeträchtliche Menge Silicium reduziert werden, sofern die Temperatur hoch genug ist; das Vereinigungsbestreben des Eisens zum Silicium und der als Reduktionsmittel dienenden Kohle zum Sauerstoff wird augenscheinlich durch Erhöhung der Temperatur mehr gesteigert als das der Basen zu der Kieselsäure, und die Menge des reduzierten Siliciums wächst mit der Temperatur.

Durch Behandeln siliciumhaltigen Eisens mit verschiedenen Lösungsmitteln hat man bestimmte chemische Verbindungen zwischen Eisen und Silicium abgeschieden. Man hat die Verbindungen Fe_2Si, $FeSi$, $FeSi_2$ und andere beobachtet. Über den etwaigen Einfluſs der Anwesenheit solcher Verbindungen auf das Verhalten des Eisens fehlt jedoch noch jeder Nachweis. Man darf annehmen, daſs auch im erkalteten Eisen mindestens die Hauptmenge des Siliciums einfach gelöst sei. Als irrtümlich müssen jedenfalls frühere Beobachtungen bezeichnet werden, nach welchen Silicium in selbständiger Form, wie Graphit, aus dem Eisen auszukristallisieren vermöge. Jordan und Turner versuchten durch Anwendung verschiedener Mittel Silicium in freier Form aus dem Eisen auszuscheiden, jedoch ohne Erfolg[1]).

Einflüsse des Siliciumgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Die Farbe der Siliciumeisenlegierungen ist weiſs. Tritt neben dem Silicium Kohlenstoff auf, welcher beim Erstarren graphitisch ausgeschieden wird, so verdeckt dieser allerdings mitunter die Farbe der eigentlichen Bruchfläche vollständig.

Siliciumeisen kristallisiert, sofern sein Siliciumgehalt nicht über 16 v. H. hinausgeht, im regelmäſsigen Kristallsysteme. Eine von Mrázek durch Benutzung von Natrium als Reduktionsmittel dargestellte kohlenstofffreie Legierung mit 7,4 v. H. Silicium besaſs diese Kristallform[2]), kleine oktaëdrische Tannenbaumkristalle (Seite 283) lassen sich auch im Siliciumeisen mit 16 v. H. Silicium beobachten. Dagegen fand Moissan kleine prismatische Kristalle in einem im elektrischen Ofen dargestellten Siliciumeisen mit 20 v. H. Silicium[3]).

---

[1]) Iron, Bd. 22, Seite 406; „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 580.

[2]) Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 20, Seite 406.

[3]) Aus den Comptes rendus Bd. 121, Seite 622 in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 1115.

Wie früher erwähnt wurde, verringert ein Siliciumgehalt des Eisens dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff und zwingt den aufgenommenen Kohlenstoff, beim Erstarren als Graphit aus seiner Lösung auszutreten, sofern der Gehalt an Silicium und Kohlenstoff zusammen ein gewisses Mafs überschreitet. Silicium als der stärkere Körper verdrängt gewissermafsen den Kohlenstoff aus seiner Lösung.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Siliciumgehalt merklich, aber nicht erheblich erniedrigt. Mrázek beobachtete, dafs die Schmelztemperatur des von ihm dargestellten kohlenstoffreien Siliciumeisens mit 7,4 v. H. Silicium höher lag als die eines graphithaltigen Roheisens mit 5 v. H. Kohlenstoff, aber niedriger als diejenige eines Stahls mit etwa 0,75 v. H. Kohlenstoff; Osmond ermittelte durch genaue Messungen die Schmelztemperatur eines Siliciumeisens mit 10 v. H. Silicium neben 2,38 v. H. Kohlenstoff und fand 1130° C.; dagegen war eine Legierung mit 4,3 v. H. Silicium neben 0,35 v. H. Kohlenstoff bei 1400° C. noch ungeschmolzen[1]).

Die Härte des Eisens wird durch einen Siliciumgehalt gesteigert; aber auch dieser Einflufs ist im Vergleiche zu dem des Kohlenstoffgehalts unbedeutend. Siliciumeisen mit 16 v. H. Silicium läfst sich mit hartem Stahlbohrer ohne Schwierigkeit bohren; Mrázek bestimmte die Härte des mehrfach erwähnten Siliciumeisens mit 7,4 v. H. Silicium zu 5,5 der mineralogischen Härteskala (zwischen Apatit und Feldspat), diejenige eines Eisens mit 1,4 v. H. Silicium und 0,17 v. H. Kohle zu 4,5—5 (Härtegrad 4 = Flufsspat, 5 = Apatit; reines Eisen besitzt ungefähr den Härtegrad 4,5). Auf die Härtbarkeit des schmiedbaren Eisens ist ein Siliciumgehalt ohne Einflufs; dafs die Neigung des Roheisens, bei plötzlicher Erstarrung weifs und hart zu werden, durch einen Siliciumgehalt verringert werde, folgt aus dessen Einflufs auf die Graphitbildung.

Die Festigkeit des Eisens wird durch einen mäfsigen Siliciumgehalt erhöht; jedoch ist dieser Einflufs weit schwächer als der eines gleichen Kohlenstoffgehalts[2]). Geht der Siliciumgehalt über 4 v. H. hinaus, so hört nach Versuchen Hadfields[3]), welche auch durch Baker Bestätigung fanden[4]), die Festigkeitssteigerung auf; sind Silicium und Kohlenstoff neben einander in solchen Gewichtsverhältnissen zugegen, dafs das Eisen graphithaltig wird, so kann eine Steigerung des Siliciumgehalts, indem sie die Graphitbildung vermehrt, die Festigkeit schmälern.

Die Zähigkeit des Eisens wird durch Aufnahme von Silicium verringert, die Sprödigkeit gesteigert. Auch die Schmiedbarkeit erleidet Einbufse; jedoch zeigt sich der Einflufs des Siliciumgehalts auch hinsichtlich dieser drei Eigenschaften weit

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 637.

[2]) Einiges Nähere hierüber in der dritten Abteilung unter „Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens".

[3]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1004.

[4]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1903, II, Seite 312; „Stahl und Eisen" 1904, Seite 514.

minder kräftig als der des Kohlenstoffgehalts. Mrázeks mehrfach erwähntes Siliciumeisen mit 7,4 v. H. Silicium war in der Kälte brüchig, vollständig spröde; in Rotglut liefs es sich mit Vorsicht, in Weifsglut leichter schmieden.

Abscheidung des Siliciums aus dem Eisen.

Aus geschmolzenem, siliciumhaltigem Eisen kann das Silicium durch Verbrennung, zum geringen Teile auch in Verbindung mit anderen Körpern durch Verflüchtigung abgeschieden werden. Als Oxydationsmittel können freier Sauerstoff, Kohlendioxyd, Wasserdampf, Eisenoxyde (insbesondere Fe_3O_3) dienen. Je weniger stark überhitzt das Metall und je stärker basisch die entstehende Schlacke hierbei ist, desto leichter und vollständiger vollzieht sich die Verbrennung des Siliciums. Daher läfst sich aus Roheisen das Silicium annähernd vollständig vor dem Kohlenstoff abscheiden, wenn ersteres nicht weit über die Schmelztemperatur hinaus erhitzt ist und basische Schlacken zugegen sind. Mit der Temperatur wächst jedoch das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs rascher als dasjenige des Siliciums, und in höherer Temperatur verbrennt deshalb das Silicium erst neben dem Kohlenstoff; wenn aber die entstehende Schlacke reich an Kieselsäure ist, kann es sogar geschehen, dafs in hoher Temperatur noch Silicium im Eisen zurückbleibt, nachdem der Kohlenstoff schon bis auf Spuren verbrannt ist (Bessemerverfahren).

Das Entweichen flüchtiger Siliciumverbindungen aus siliciumhaltigem Eisen läfst sich im Betriebe nicht selten beobachten. Fliefsendes Roheisen ist oft von einem dicken weifsen Rauche bedeckt, welcher zum grofsen Teile aus Kieselsäure entsteht; in Drusenräumen erstarrten siliciumhaltigen Roheisens findet man mitunter einen weifsen Überzug, aus reiner Kieselsäure bestehend und jedenfalls durch Verbrennung einer in die Druse eintretenden gasförmigen Siliciumverbindung entstanden; moosartige Bildungen von Kieselsäure wurden in Vertiefungen an der Aufsenseite von Roheisenmasseln gefunden[1]). Höchstwahrscheinlich ist es Schwefelsilicium (Siliciumsulfid), welches zu diesen Erscheinungen Veranlassung gibt, indem es flüchtig aus dem Roheisen entweicht und bei Berührung mit der Luft oder der Feuchtigkeit des Formsandes verbrennt. Schwefelsilicium bildet sich nach Frémys und Colsons Untersuchungen[2]), deren Ergebnisse später durch einige von mir angestellte Versuche[3]) bestätigt wurden, wenn Schwefel, Kohlenstoff und Kieselsäure in Weifsglut auf einander wirken; oder auch durch Einwirkung von Schwefelkohlenstoff auf Silicium. In hoher

---

[1]) Beispiele: Berg- und hüttenm. Zeitung 1877, Seite 279; Zeitschrift des Berg- und hüttenm. Vereins für Kärnten und Steiermark 1876, Seite 77; „Stahl und Eisen" 1884, Seite 638; 1900, Seite 553 und 582. Auch Grignon beschreibt bereits 1775 die gleiche Erscheinung in seinen Mémoires de physique; eine Wiedergabe der von ihm gebrachten Abbildung enthält Osmond, Cristallographie du fer, Tafel 1, Fig. 28.

[2]) Comptes rendus, Bd. 35, Seite 27; Bd. 94, Seite 1526.

[3]) Berg- und hüttenm. Zeitung 1878, Seite 324.

Temperatur (Weifsglut) ist es flüchtig und wird, sobald es einmal Gasform angenommen hat, von dem Gasstrome auf weite Entfernungen mitgenommen. An feuchter Luft oxydiert es sich rasch unter Schwefelwasserstoffentwicklung zu Kieselsäure.

Möglicherweise spielt auch Stickstoffsilicium, welches nach Wöhler und Deville bei Einwirkung beider Körper aufeinander in hoher Temperatur entsteht, durch Glühen im Wasserdampfe aber zerlegt wird[1]), mitunter eine Rolle.

Siliciumwasserstoff soll nach Morton beim Hinüberleiten von trockenem Wasserstoffgase über siliciumhaltiges glühendes Eisen gebildet werden[2]). Nähere Untersuchungen hierüber fehlen.

6. Eisen und Phosphor.

Reduktion des Phosphors. Phosphorgehalt und Formen des Phosphors im Eisen.

Phosphor findet sich in den Erzen, Zuschlägen und in der Asche der Brennstoffe, mit Sauerstoff und Calcium (Apatit, Phosphorit), Eisen (Vivianit) oder anderen Metallen zu Phosphaten vereinigt. Die Reduktion des Phosphors aus diesen Verbindungen geht in hoher Temperatur unter Einwirkung von Kohle ziemlich leicht von statten, wenn Eisen zugegen ist, zu dem der Phosphor ein starkes Vereinigungsbestreben besitzt. Selbst die Gegenwart starker Basen vermag nicht bei Gegenwart von Eisen die Reduktion des Phosphors durch Kohle zu hindern; bei Berührung von geschmolzenem kohlenstoffhaltigem Eisen mit Phosphaten genügt dessen Kohlenstoffgehalt, Phosphor zu reduzieren und dem Eisen zuzuführen. Auch Mangan und Silicium können reduzierend auf Phosphate einwirken; selbst Eisen vermag nach Versuchen von Finkener[3]) und Hilgenstock[4]) unter günstigen Verhältnissen Phosphor zu reduzieren, falls ein entsprechender Überschufs des Eisens zur Aufnahme des Phosphors zugegen ist.

Dieses Verhalten des Phosphors erklärt es, dafs beim reduzierenden Schmelzen von Eisenerzen mit Kohle ein grofser Teil des in den Erzen, den Zuschlägen und der Asche enthaltenen Phosphors reduziert und vom Eisen aufgenommen wird. Annähernd vollständige Reduktion des anwesenden Phosphors findet statt, wenn die Temperatur hoch und die tätigen reduzierenden Einflüsse so kräftig sind, dafs auch alles anwesende Eisen bis auf kleine, in den Schlacken zurückbleibende Mengen reduziert wird (Hochofenschmelzen). In diesem Falle enthält die entstehende Schlacke, selbst wenn sie sehr basisch ist, nur unbedeutende Mengen von Phosphaten. Je niedriger aber die Temperatur, je eisenreicher die entstehende Schlacke ist, ein desto gröfserer Anteil des Phosphorsäuregehalts der Erze bleibt in der Schlacke zurück. Man kann

---

[1]) Liebigs Jahresberichte 1859, Seite 154.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, Seite 102.

[3]) Mitteilungen aus den Königlichen technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1883, Seite 33.

[4]) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 528.

also selbst aus phosphorreichen Erzen unter Benutzung dieses Verhaltens des Phosphors unmittelbar ein verhältnismäfsig phosphorarmes Eisen darstellen, indem man die Erze nicht im Hochofen auf Roheisen, sondern in kleineren, in der dritten Abteilung beschriebenen Schmelzöfen unter Bildung einer eisenreichen Schlacke auf schmiedbares Eisen verarbeitet, wie es im Altertume ausnahmslos geschah.

Phosphor und Eisen legieren sich in allen Gewichtsverhältnissen, doch wird im Handelseisen selten mehr Phosphor als 3,0 v. H. gefunden.

Schneider, von Jüptner und insbesondere Stead[1]) fanden, dafs im erkalteten Eisen ein Teil des Phosphors gelöst, ein anderer Teil in chemischer Verbindung mit Eisen als Phosphid Fe_3P (mit 15,6 v. H. Phosphor) abgesondert sein könne, der Phosphor sich demnach in dieser Beziehung ähnlich wie Kohlenstoff verhalte. Langsame Abkühlung befördert, rasche Abkühlung erschwert nach Steads Ermittelungen die Absonderung des Phosphids; ein neben Phosphor anwesender Kohlenstoffgehalt begünstigt die Phosphidabsonderung. Als ein übrigens reines Eisen mit 1,75 v. H. Phosphor unter Zusatz verschiedener Mengen Holzkohle im Magnesiatiegel geschmolzen worden war, fand Stead unter anderen folgende Kohlenstoff- und Phosphorgehalte:

Kohlenstoff	Gelöster Phosphor	Im Phosphide Fe_3P anwesender Phosphor	Gesamter Phosphorgehalt
0,00	1,75	0,00	1,75
0,18	1,18	0,59	1,77
0,80	0,70	1,06	1,76
1,40	0,60	1,16	1,76
3,50	0,31	1,40	1,71

Während hier das kohlenstofffreie Eisen überhaupt kein Phosphid abgesondert hat, findet nach Steads Angabe in jedem Falle eine solche Absonderung statt, wenn der Phosphorgehalt über 1,75 v. H. hinausgeht.

Einflüsse des Phosphorgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Phosphorreiches Eisen kristallisiert in Prismen. Im kohlenstoffarmen Eisen beobachtete Stead prismatische Kristallbildungen schon bei einem Phosphorgehalte von 1,70 v. H.

Die Einflüsse des Phosphorgehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff und auf die Graphitbildung haben auf Seite 317 und 324 Erörterung gefunden.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Phosphorgehalt erniedrigt. Genaue Messungen der Schmelz-

[1]) Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1886, Seite 736 (Schneider); „Stahl und Eisen" 1897, Seite 524 (von Jüptner); The Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 60 (Stead).

temperaturen von Eisensorten mit verschiedenem Phosphorgehalte sind bis jetzt nicht angestellt worden; wie es scheint, ist das Maſs jenes Einflusses mitunter überschätzt und mit der Erhöhung der Dünnflüssigkeit verwechselt worden, welche ein Phosphorgehalt dem geschmolzenen Eisen verleiht. Freese[1]) fand, daſs kohlenstofffreie Eisenphosphide schwer schmelzbar sind, und Hilgenstock[2]) beobachtete, daſs Eisen mit 15 v. H. Phosphor schwieriger zum Schmelzen zu bringen war als solches mit 9 v. H. Silicium. Dagegen deutet die vielfach zu beobachtende Neigung phosphor- und kohlenstoffhaltigen Eisens, phosphorreichere Verbindungen auszusaigern, deutlich auf eine Erniedrigung der Schmelztemperatur kohlenstoffhaltigen Eisens durch den Phosphorgehalt. Als Stead ein Stück phosphorreichen Roheisens unmittelbar nach eingetretener Erstarrung dem Drucke einer Wasserdruckpresse aussetzte, floſs eine kleine Menge einer noch nicht erstarrten Legierung aus, und die Untersuchung ergab

	P	C	Si	S	Mn
die Zusammensetzung des Muttermetalls	1,58	3,00	1,68	0,12	0,85
die Zusammensetzung der ausgeflossenen Legierung	6,84	1,75	0,79	0,06	0,29

Sonstige Beispiele des Aussaigerns phosphorreicher Verbindungen sind bei Besprechung der Eigenschaften des Roheisens und des Fluſseisens gegeben.

Die Härte des Eisens wird durch einen Phosphorgehalt gesteigert. Im übrigens reinen Eisen erreicht nach Stead die Härte ihr höchstes Maſs bei einem Gehalte von 1,75 v. H. Phosphor; solches Eisen besitzt einen Härtegrad zwischen Apatit und Feldspat und wird nur von einem gut gehärteten Bohrer noch angegriffen. Der Einfluſs muſs jedoch um so undeutlicher werden, je mehr Kohlenstoff neben Phosphor anwesend ist, welcher ersterer an und für sich die Härte des Eisens steigert, daneben aber die Wirkung des gelösten Phosphors abmindert, indem er, wie erwähnt, einen Teil davon zur Absonderung in Form des Phosphids Fe_3P veranlaſst.

Wichtiger sind die Änderungen, welche die Festigkeitseigenschaften des Eisens durch einen Phosphorgehalt erleiden. Durch einen geringen Phosphorgehalt wird die Festigkeit des Eisens bei ruhiger Belastung etwas, doch nicht erheblich gesteigert; durch einen höheren Phosphorgehalt wird sie geschwächt. Rasch nimmt aber mit dem Phosphorgehalte die Sprödigkeit des Eisens zu; Erschütterungen, oft unerheblicher Natur, können eine Zertrümmerung von Gebrauchsgegenständen aus phosphorhaltigem Eisen hervorrufen. Je niedriger die Temperatur ist, desto deutlicher macht sich dieser Einfluſs des Phosphorgehalts bemerkbar.

Man bezeichnet allgemein die dem Eisen durch den Gehalt an gewissen Fremdkörpern erteilte Neigung, unter dem Einflusse von Schlägen oder Erschütterungen in gewöhnlicher Temperatur

[1]) Poggendorffs Annalen, Bd. 132 (1867), Seite 225.
[2]) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 6.

zu zerspringen, als Kaltbruch; phosphorhaltiges Eisen ist demnach kaltbrüchig.

Zum Teil beruht das geschilderte üble Verhalten phosphorhaltigen Eisens unmittelbar auf der Veränderung, welche das Gefüge des Eisens durch Anwesenheit von Phosphor erfährt; das Eisen erhält durch den Phosphorgehalt ein grobkristallinisches Gefüge. Je gröfsere Spaltungsflächen aber ein Körper besitzt, desto brüchiger pflegt er zu sein.

Der durch Phosphor hervorgerufene Kaltbruch wächst mit dem Gehalte des Eisens an Härtungskohle. Da aber in schmiedbarem Eisen der Gehalt an Härtungskohle bei gleichen Abkühlungsverhältnissen mit dem Gesamtkohlenstoffgehalte zu- und abnimmt, ist der Phosphorgehalt dieses Eisens um so nachteiliger, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist. Während in einem kohlenstoffreichen Stahle schon ein Gehalt von 0,01 v. H. Phosphor einen merklichen Einflufs auszuüben vermag, darf ein kohlenstoffarmes Eisen, insbesondere ein kohlenstoffarmes Schweifseisen, mitunter bis zu 0,2 v. H. Phosphor enthalten, ohne für gewöhnlichere Verwendungen unbrauchbar zu werden, wenn auch der benachteiligende Einflufs eines solchen Phosphorgehalts unverkennbar ist.

Graues Roheisen enthält um so weniger Härtungskohle, je höher sein Siliciumgehalt ist; anderseits stellt man an die Festigkeitseigenschaften des Roheisens (Gufseisens) überhaupt nicht die Ansprüche wie an die des schmiedbaren Eisens. Der zulässige Phosphorgehalt im Gufseisen ist daher, zumal wenn dieses siliciumreich genug ist, höher als im schmiedbaren Eisen, und in gewöhnlichen Gufswaren aus grauem Roheisen findet man nicht selten mehr als 1 v. H. Phosphor.

Die einfachste Erklärung für diese Steigerung des Einflusses eines Phosphorgehalts durch anwesende Härtungskohle liegt in dem Umstande, dafs beide Körper das Verhalten des Eisens in derselben Weise beeinflussen; ein Gehalt an Härtungskohle macht das Eisen spröder (Seite 346). Wenn aber zwei Körper den gleichen Einflufs ausüben, ist dessen Mafs gewöhnlich gröfser als die Summe aus dem Mafse der einzelnen Einflüsse (Seite 291).

Abscheidung des Phosphors aus dem Eisen.

Die Abscheidung des Phosphors ist durch Verbrennung möglich. Sie macht die Erfüllung ähnlicher Bedingungen notwendig, wie die Abscheidung des Siliciums; aber das Vereinigungsbestreben des Phosphors zum Eisen ist noch stärker als das des Siliciums, das Vereinigungsbestreben zwischen Phosphorsäure und Basen in hoher Temperatur weniger stark als zwischen Kieselsäure und Basen. Daher gelingt die Phosphorabscheidung weniger leicht als die Abscheidung des Siliciums. Unentbehrlich ist in jedem Falle die Anwesenheit stark basischer Schlacken zur Aufnahme der entstehenden Phosphorsäure. Vor dem Kohlenstoff kann aus geschmolzenem Roheisen ein grofser Teil des Phosphors neben allem Silicium bei Gegenwart basischer Schlacken durch Einwirkung oxydierender Körper (zu denen insbesondere Eisenoxyde gehören)

entfernt werden, wenn die Temperatur die Schmelztemperatur des Roheisens nicht erheblich übersteigt; in höherer Temperatur gelingt die Phosphorabscheidung erst, wenn der gröfste Teil des Kohlenstoffs, welcher hier reduzierend auf Phosphate einzuwirken vermag, entfernt ist.

7. Eisen und Schwefel.

Aufnahme und Formen des Schwefels im Eisen.

Die starke Verwandtschaft des Eisens zum Schwefel läfst sich erkennen, wenn man rotglühendes Eisen mit Schwefel berührt. Es erfolgt sofortige Vereinigung und bei genügender Menge des Schwefels Schmelzung. In dieser Weise lassen sich beide Körper in allen beliebigen Gewichtsverhältnissen mit einander vereinigen. Wo sich Schwefel im geschmolzenen, manganfreien Eisen findet, nimmt man an, dafs dieser in chemischer Verbindung mit Eisen als Eisensulfür FeS gelöst sei. Enthält aber das Eisen Mangan, so zerlegt dieses das Eisensulfür unter Bildung von Mangansulfür um so vollständiger, in je gröfserem Überschusse es zugegen ist.

Erstarrt nun schwefelhaltiges Eisen, so tritt eine Absonderung der Schwefelverbindungen aus ihrer Lösung ein. Mangansulfür erstarrt bereits in sehr hoher Temperatur und scheidet sich von dem Muttermetalle. Liegt dessen Erstarrungstemperatur wegen eines gröfseren Gehalts an Kohlenstoff oder anderen Fremdkörpern verhältnismäfsig niedrig, so steigt das früher starr gewordene, spezifisch leichtere Mangansulfür an die Oberfläche des noch flüssigen Metalls; im Eisen mit höherer Erstarrungstemperatur bleibt es, wie durch metallographische Untersuchung sich erweisen läfst, in Form feiner kristallinischer Bildungen oder Kügelchen von blaugrauer Farbe eingeschlossen, welche erst beim Schmelzen des Metalls wieder in Lösung gehen. Eisensulfür dagegen schmilzt und erstarrt in einer weit tieferen Temperatur, welche zwischen 900 und 1000 ° C. liegt; es sondert sich im noch flüssigen Zustande von dem erstarrenden Metalle, dringt zwischen den Absonderungsflächen der Gefügebestandteile ein, diese in dünner Schicht überziehend oder in Form von bräunlich gefärbten Kügelchen sich dazwischen ablagernd und in Rotglut jedenfalls ihren Zusammenhang unterbrechend. Auch hierüber gibt die mikrographische Untersuchung Aufschlufs [1]).

Das häufige Auftreten des Schwefels in den Eisenerzen wurde bereits mehrfach, insbesondere auch bei der Besprechung des Röstens, erwähnt. Da aber schon ein sehr geringer Schwefelgehalt das Verhalten des Eisens zu schädigen vermag, ist es Aufgabe des Eisenhüttenmanns, den Übergang des Schwefels aus den Erzen an das Eisen nach Möglichkeit zu hintertreiben.

Aus den Mitteilungen über das Rösten der Erze ergibt sich, dafs hierbei ein reichlicher Teil des Schwefelgehalts der Erze ent-

---

[1]) Näheres hierüber in den unter Literatur genannten Abhandlungen von Le Chatelier und Ziegler, sowie von Arnold und Waterhouse.

fernt werden kann, zumal wenn das Rösten noch durch späteres Auslaugen ergänzt wird, und daſs in manchen Fällen die Entschwefelung der Erze der Hauptzweck des Röstens ist.

Noch reicher an Schwefelverbindungen als die meisten Eisenerze sind aber die zu ihrer Verhüttung vornehmlich angewendeten mineralischen Brennstoffe, insbesondere die Steinkohlen und die aus ihnen dargestellten Koks. Durch Waschen der Steinkohlen läſst sich ihr Schwefelgehalt abmindern; ein anderer Teil geht bei der Verkokung davon. Ein gewisser Rest aber, der mitunter mehr als 2 v. H. des Gewichts der Koks beträgt, bleibt in allen Fällen zurück. Der Übergang dieses Schwefelgehalts an das Eisen läſst sich indes trotz des starken Vereinigungsbestrebens beider Körper durch die Bildung stark basischer, kalkreicher Schlacken vereiteln, welche befähigt sind, Schwefeleisen zu lösen. Besonders kräftig ist ihre Wirkung, wenn, wie beim Hochofenschmelzen, Kohlenstoff zugegen ist, durch dessen reduzierende Einwirkung aus dem Schwefeleisen und der Kalkerde metallisches Eisen und Schwefelcalcium gebildet werden:

$$FeS + CaO + C = Fe + CaS + CO.$$

Je kalkreicher die Schlacke ist, desto leichter nimmt sie den Schwefel auf. Nach Versuchen im Kleinen von R. Åkerman[1]) lieferte ein und dasselbe Erz, welches der Reihe nach mit 15 v. H. Quarzzuschlag, mit 5 v. H. Kalksteinzuschlag und mit 20 v. H. Kalksteinzuschlag geschmolzen wurde, Eisen mit 0,09, 0,04 und 0,01 v. H. Schwefel.

Den gleichen Einfluſs wie Kalkerde übt Manganoxydul; es entsteht Schwefelmangan, welches leicht in der basischen Schlacke, schwer im Eisen löslich ist.

Geringere Neigung zur Schwefelaufnahme als kalk- oder manganreiche Schlacken besitzen solche, in denen die Kalkerde oder das Manganoxydul ganz oder zum gröſseren Teile durch eine chemisch gleichwertige Menge Magnesia ersetzt ist[2]). Magnesium besitzt nur geringe Verwandtschaft zum Schwefel.

Hohe Temperatur beim Schmelzen befördert den Übergang des Schwefels an die basische Schlacke, also die Entstehung schwefelarmen Eisens. Da die Schmelztemperatur kalkreicher Schlacken mit ihrem Kalkerdegehalte steigt, und demnach auch die Temperatur im Schmelzofen um so höher sein muſs, je kalkreicher die Schlacke ist, muſs jener Umstand als besonders günstig für die Entschwefelung betrachtet werden.

Das besprochene Verhalten des Schwefels zu Kalkerde und Manganoxydul bei Gegenwart von Kohle erklärt es, daſs bei der Verhüttung der Eisenerze der Kalkerde- und Manganoxydulgehalt der Schlacke von noch gröſserem Einflusse auf den Schwefelgehalt

---

[1]) Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnthen 1876, Seite 160.

[2]) Dagegen beobachtete Firmstone, daſs Singulosilikatschlacken, in welchen das Gewichtsverhältnis der Magnesia zur Kalkerde ungefähr wie 1 : 2 war, beim Hochofenbetriebe mehr Schwefel aufnahmen, als solche, welche nur Kalkerde enthielten („Stahl und Eisen“ 1894, Seite 967). Vermutlich war hier der Einfluſs des Magnesiagehalts der Schlacke auf die Schmelztemperatur die Ursache.

des erfolgenden Roheisens ist, als der Schwefelgehalt der Erze und Brennstoffe selbst. Die Erfahrung lehrt, dafs man bei Anwendung von Koks, sofern die Schlacke ausreichend basisch (Subsilikat), insbesondere reich an Kalkerde, die Schlackenmenge ausreichend grofs und die Temperatur ausreichend hoch ist, schwefelärmeres Eisen darzustellen vermag als bei Anwendung von Holzkohlen mit kieselsäurereicher Schlacke. Roheisensorten, welche bei stark kalkerdereicher Schlacke in hoher Temperatur erblasen wurden, pflegen auch bei dem Betriebe mit Koks nur sehr geringe Mengen (0,01 bis 0,03 v. H.) Schwefel zu enthalten.

Während demnach kalkreiche Schlacken bei Gegenwart von Kohle den Übergang des Schwefels an das Eisen verhindern, kann umgekehrt kohlenstoffarmes Eisen reduzierend auf schwefelsaures Calcium (Gyps, Anhydrit) einwirken und dabei Schwefel aufnehmen ($CaSO_4 + 4Fe = FeS + CaO + 3FeO$), wenn es in Weifsglut damit in Berührung tritt und nicht die erwähnten Gegenmittel zur Anwendung gebracht werden [1]).

Auch aus schwefelhaltigen Gasen kann Eisen in höherer Temperatur Schwefel aufnehmen. Finkener erhitzte Eisen in einem Strome schwefeliger Säure, wobei sich Eisenoxydul und Schwefeleisen gebildet hatte [2]); ebenso fand K. Hilgenstock, daſs metallisches Eisen reichlich Schwefel aufnahm, wenn er es einem Strome von schwefeliger Säure, Schwefelwasserstoff oder Schwefelkohlenstoff in Glühhitze aussetzte [3]). Odelstjerna beobachtete, daſs kohlenstoffarmes Eisen seinen Schwefelgehalt um 0,03 v. H. anreicherte, wenn es durch Gase geschmolzen wurde, die aus schwefelhaltigen Brennstoffen erzeugt worden waren [4]), und die gleiche Wahrnehmung läfst sich im Betriebe (beim Martinschmelzen) nicht selten anstellen.

Einflüsse des Schwefelgehalts auf die Einflüsse des Eisens.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch Aufnahme eines gröſseren Schwefelgehalts erniedrigt; geschmolzenes schwefelreiches Eisen zeigt jedoch eine dickflüssige Beschaffenheit und besitzt die Eigenschaft, mit Löchern und Blasen im Innern zu erstarren, die eine Folge von Gasbildung sind. Aus dem stets kohlenstoffhaltigen Eisen entweicht vermutlich Schwefelkohlenstoff, bei der Berührung des Eisens mit feuchten Körpern (Formsand) wird Schwefelwasserstoff entwickelt.

Die Festigkeit des Eisens in der Kälte wird durch einen Schwefelgehalt, welcher nicht erheblich über 0,1 v. H. hinausgeht, nicht merklich beeinträchtigt. Da ein viel höherer Schwefelgehalt nur selten vorkommt, liegen vergleichende Untersuchungen nur

[1]) Versuche Finkeners: Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin, Jahrgang 1, Seite 33; Versuche G. Hilgenstoks: „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 51; Versuche Niedts: Zeitschrift des oberschlesischen berg- und hüttenm. Vereins 1885, Seite 389.

[2]) Wie in der vorhergehenden Fuſsanmerkung.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 340.

[4]) Jernkontorets Annaler 1885, Seite 2.

vereinzelt vor; daſs ein reichlicher Schwefelgehalt für die Festigkeit und mehr noch für die Zähigkeit des Eisens von Nachteil sei, ist nicht zu bezweifeln.

Erhitzt man aber schmiedbares Eisen, welches eine gewisse Menge Schwefel enthält, zur Rotglut, so verliert es in dieser Temperatur seinen Zusammenhang, bekommt bei der Bearbeitung (Schmieden, Walzen) Risse oder fällt gar in Brocken auseinander. Das Eisen ist rotbrüchig. Dieser Einfluſs des Schwefels ist der nämliche wie der des vom schmiedbaren Eisen aufgenommenen Sauerstoffs (Seite 296); aber gleiche Mengen Schwefel rufen eine stärkere Wirkung hervor als Sauerstoff.

Enthält das Eisen Mangan, so ist der Einfluſs des Schwefelgehalts auf die Schmiedbarkeit des Eisens geringer als im manganfreien Eisen. Die Erklärung dafür liefert das oben geschilderte abweichende Verhalten des Eisensulfürs und Mangansulfürs. Näheres hierüber ist in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde mitgeteilt.

In Weiſsglut dagegen ist dieser Einfluſs des Schwefelgehalts ebenso wenig wie der eines Sauerstoffgehalts erkennbar. Der Eisensulfürgehalt hat sich im Eisen gelöst und vermag nicht mehr, wie die in Rotglut flüssige Verbindung, den Zusammenhang der Teilchen zu unterbrechen.

Die Einflüsse des Schwefelgehalts auf die Formen des Kohlenstoffs im Eisen und den Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff wurden schon früher besprochen: die Graphitbildung wird erschwert, der erreichbare Gesamtkohlenstoffgehalt erniedrigt. Bei der Roheisendarstellung befördert also ein Schwefelgehalt, sofern er einigermaſsen beträchtlich ist, die Entstehung kohlenstoffarmen weiſsen Eisens.

Abscheidung des Schwefels aus dem Eisen.

Durch Verbrennung läſst sich nur ein kleiner Teil des Schwefelgehalts auch unter solchen Einflüssen abscheiden, welche eine beinahe vollständige Abscheidung des Kohlenstoff-, Silicium- und Mangangehalts bewirken [1]).

Dieselben Körper aber, welche bei der Verhüttung schwefelhaltiger Erze oder bei der Benutzung schwefelhaltiger Brennstoffe die Aufnahme des Schwefels durch das Eisen zu verhindern vermögen, können auch eine Abscheidung des schon aufgenommenen ermöglichen.

Demnach gibt schwefelhaltiges Eisen an kalkreiche Schlacken um so leichter Schwefel ab, je basischer diese sind und je höher die Temperatur ist. Bei mehreren von mir ausgeführten Versuchen wurde ein zu diesem Zwecke dargestelltes schwefelhaltiges Eisen mit 2,88 v. H. Schwefel einmal mit einer Singulosilikatschlacke, ein zweites Mal mit einer Bisilikatsschlacke in Tiegeln, welche mit Holzkohle ausgefuttert waren, geschmolzen [2]).

---

[1]) Versuche Niedts: Zeitschrift des oberschlesischen berg- und hüttenm. Vereins 1885, Seite 392.

[2]) Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, Seite 55.

Beide Schlacken enthielten neben Kalkerde etwas Tonerde, die Menge der Schlacke war bei allen Versuchen gleich der doppelten Menge des Eisens. Der Schwefelgehalt nach dem Schmelzen betrug in Hundertteilen des Eisengewichts:

	im Eisen	in der Schlacke
bei der Singulosilikatschlacke . .	0,079	1,445
„ „ Bisilikatschlacke	0,557	0,681

Als die gleichen Schmelzversuche mit Schlacken wiederholt wurden, in denen die Kalkerde durch eine chemisch gleichwertige Menge Magnesia ersetzt worden war, ergab sich der Schwefelgehalt:

	im Eisen	in der Schlacke
bei der Singulosilikatschlacke . .	0,260	1,069
„ „ Bisilikatschlacke	0,391	0,290

Die Versuche zeigen deutlich die stärker entschwefelnde Wirkung der Kalkerde. Da nun sehr kalkerdereiche Schlacken zugleich sehr strengflüssig sind, erniedrigt man wohl ihre Schmelztemperatur, wenn man sie als Entschwefelungsmittel benutzen will, durch Zusatz von Flufsspat (Rollets Verfahren, in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde erwähnt) oder von Chlorcalcium (Saniters Verfahren beim Martinschmelzen, in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochen).

Auch eisenoxydulreiche basische Schlacken vermögen Schwefeleisen zu lösen und dieses dem metallischen Eisen zu entziehen. Als Stead Eisen, welches

C	S	Mn	P	Si	
1,85	1,88	0,09	2,10	0,05	v. H.

enthielt, in einem Tontiegel mit einer Schlacke zusammenschmolz, welche aus

FeO	Fe_2O_3	MnO	SiO_2	S
66,87	13,14	0,86	16,70	0,16

Gewichtsteilen bestand, verringerte sich der Schwefelgehalt des Eisens auf 0,58 v. H., während der Schwefelgehalt der Schlacke auf 2,26 v. H. stieg und als Schwefelmetall (nicht etwa als Sulfat) anwesend war[1]). Die gleiche Beobachtung läfst sich im Betriebe bei der Schweifseisendarstellung aus Roheisen bei Gegenwart eisenoxydulreicher Schlacken machen (Frischfeuer- und Puddelbetrieb; Beispiele in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde).

Die Befähigung kalkreicher Schlacken, entschwefelnd auf Eisen zu wirken, wird erhöht, wenn sie zugleich Eisenoxydul enthalten.

Wenn das Eisen neben viel Schwefel auch einen reichen Kohlenstoffgehalt besitzt, oder wenn schwefelreiches Eisen längere Zeit mit Kohle erhitzt wird, vermag diese auch ohne Mitwirkung basischer Schlacke einen Teil des Schwefelgehalts abzuscheiden, und zwar durch die Verflüchtigung als Schwefelkohlenstoff. Beim Schmelzen grauen Roheisens mit Schwefeleisen in solchen Gewichtsverhältnissen, dafs der durchschnittliche Schwefelgehalt 0,90 v. H. betrug, fand Smith nach einstündiger Erhitzung nur einen Schwefelgehalt von 0,091 v. H., und verschiedene gleiche

[1]) Vergl. Literatur; auch „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 337.

Versuche lieferten ähnliche Ergebnisse[1]). Boussingault glühte weifses Roheisen 36 Tage lang in Holzkohlen, wobei sich dessen Schwefelgehalt von 0,101 v. H. auf 0,036 v. H. verringerte, und ein gleicher Versuch mit schwedischem Schweifseisen ergab eine Schwefelabnahme von 0,055 v. H. auf 0,019 v. H.[2]).

Auch durch Aufnahme eines reichlichen Siliciumgehalts kann Schwefel aus dem Eisen verdrängt werden[3]).

Als ein besonders kräftig wirkendes Entschwefelungsmittel aber hat sich das metallische Mangan erwiesen. Sein Einflufs beruht auf zwei verschiedenen schon erwähnten Umständen: seiner stärkern chemischen Verwandtschaft zum Schwefel und der Schwerlöslichkeit des strengflüssigen Schwefelmangans im Eisen. Aus mangan- und schwefelhaltigem Eisen treten beide Körper zusammen aus, wenn das Metall längere Zeit flüssig erhalten wird.

Schon Berthier machte die Beobachtung, dafs beim Schmelzen einer schwefelhaltigen und zugleich manganhaltigen Beschickung Schwefel in die Schlacke geführt werde; Caron wies später durch Versuche nach, dafs auch dem Roheisen durch Schmelzen mit Mangan ein grofser Teil seines Schwefelgehalts entzogen werden könne. Ein Roheisen, welches 1,15 v. H. Schwefel enthielt und dessen Schwefelgehalt nach einfacher Schmelzung ohne Mangan sich nur auf 1,14 v. H. abgemindert hatte, wurde mit 6 v. H. Manganzusatz geschmolzen, wobei sich der Schwefelgehalt auf 0,15 v. H., der Mangangehalt auf 3,92 v. H. abminderte; wiederholte Versuche ergaben ähnliche Ergebnisse und teilweise noch niedrigeren Schwefelgehalt[4]). Walrand erzielte durch einfaches Mischen geschmolzenen schwefelreichen Eisens mit geschmolzenem manganreichen Eisen eine Abminderung des Schwefelgehalts von 0,50 auf 0,06 v. H.[5]), und K. Hilgenstock verringerte durch Zusammengiefsen annähernd gleicher Gewichtsmengen geschmolzenen Schwefeleisens und reichen Eisenmangans den Schwefelgehalt des Metalls auf 0,08—0,05 v. H., während grünes Schwefelmangan sich ausschied[6]).

Im Betriebe läfst sich bei verschiedenen Gelegenheiten diese Einwirkung eines Mangangehalts auf Schwefel beobachten. Auf fliefsendem, verhältnismäfsig schwefelreichem Roheisen (z. B. Thomasroheisen) erscheinen, wenn dieses zugleich manganhaltig ist, Aussonderungen in der Gröfse einer Wallnufs oder darüber, frühzeitiger erstarrend als das Muttereisen und bedeutend reicher als dieses an Mangan und Schwefel, ärmer an Kohlenstoff. So z. B. enthielt eine derartige von mir untersuchte Aussonderung von grauweifser Farbe und erdigem Bruchaussehen:

---

[1]) H. Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 278.

[2]) Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Bd. 5, Seite 145.

[3]) Versuche Turners hierüber: „Stahl und Eisen" 1888, Seite 580; K. Hilgenstocks: „Stahl und Eisen" 1894, Seite 340.

[4]) Comptes rendus, Bd. 56, Seite 828; daraus: Journal für praktische Chemie, Bd. 89, Seite 504; Berg- und hüttenm. Zeitung 1863, Seite 372; Dinglers polytech. Journal, Bd. 168, Seite 380.

[5]) Revue universelle des mines 1881, Bd. 10, Seite 407.

[6]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 339.

Mn	S	C
8,51	3,04	2,00 v. H.,

während das Muttereisen nur 0,15 v. H. Schwefel neben 3 v. H. Mangan und 3,00 v. H. Kohlenstoff enthielt.

Einem ähnlichen Vorgange verdanken die auf ruhig stehendem Roheisen sich häufig bildenden sogenannten „Wanzen“ ihr Entstehen, dunkele blatternartige Absonderungen, welche teilweise aus oxydierten Körpern bestehen, in allen Fällen aber reicher an Schwefel und Mangan sind als das Eisen, aus dem sie sich ausschieden. Deutlich zeigt sich dieser Vorgang in folgender Zusammensetzung eines für die Giefserei bestimmten Gufseisens und der von dessen Oberfläche beim ruhigen Stehen abgeschöpften „Wanzen“ [1]):

	C	Si	P	S	Mn	Fe	Sauerstoff (als Gewichtsunterschied)
Gufseisen	3,463	2,196	n. best.	0,056	2,620	n. best.	0,000
Wanzen	3,818	1,869	0,475	0,223	5,188	87,099	1,328

Wenn noch andere Körper aus dem Eisen austreten, unter dem Einflusse der Luft verbrennen und ebenfalls in jenen Wanzen sich sammeln, so tritt bei deren Untersuchung der in Rede stehende Einflufs des Mangans nicht ganz so deutlich zutage; immerhin aber findet man auch in diesen besonders häufig vorkommenden Fällen stets einen hohen Schwefelgehalt der Wanzen; z. B.

	I	II	III
Kieselsäure	29,80	12,81	8,40
Eisenoxyd	13,46	0,00	0,00
Eisenoxydul	46,78	5,98	74,86
Manganoxydul. . . .	6,40	79,77	2,27
{ Mangan	0,79	0,81	0,77
{ Schwefel.	0,46	0,47	0,44
Phosphorsäure . . .	2,66	0,00	9,94
Vanadinsäure	0,00	0,00	2,56
	99,80	99,84	99,24

Die Probe I stammte von einem weifsen Roheisen aus dem Saargebiete, die Probe II von Thüringer Spiegeleisen mit nur einer geringen Spur Schwefel und 9,60 v. H. Mangan. In der zweiten Probe wurde auch 0,08 v. H. Silber gefunden. Beide Untersuchungen wurden von mir ausgeführt. Die dritte Probe entstammt weifsem Luxemburger Roheisen und wurde von Blume untersucht [2]).

Zum Teil beruht auch auf dieser Wirkung des Mangans die schon erwähnte Tatsache, dafs bei Verhüttung manganreicher,

---

[1]) Berg- und hüttenm. Zeitung 1878, Seite 322. (Vom Verfasser angestellte Untersuchung.)

[2]) „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 393. Sonstige Untersuchungen: Dinglers polytechn. Journal, Bd. 214, Seite 48 (Muck).

schwefelhaltiger Erze oder Benutzung schwefelhaltiger Brennstoffe zur Verhüttung manganhaltiger Erze der Schwefel in die Schlacke geführt wird, wenn diese ausreichend manganreich ausfällt. Eine andere Anwendung der entschwefelnden Wirkung des Mangans macht man im Betriebe bei dem in der zweiten Abteilung beschriebenen, in Hörde zuerst ausgebildeten Entschwefelungsverfahren: man mischt, wie bei Walrands Versuchen im kleinen, schwefelreiches manganarmes Roheisen mit manganreicherem Roheisen im flüssigen Zustande, wobei schwefel- und manganreiche Aussonderungen sich bilden.

8. Eisen und Mangan.

Reduktion des Mangans. Eisenmanganlegierungen.

Das Mangan gehört zu den schwer reduzierbaren Metallen und wird nur in Weifsglut durch festen Kohlenstoff reduziert. Da es sich leicht mit dem Eisen legiert, befördert die Anwesenheit reduzierten Eisens auch die Reduktion des Mangans, und hieraus erklärt sich, dafs beim Verhütten manganhaltiger Erze unter Einflüssen, welche eine annähernd vollständige Reduktion des Eisens bewirken (im Hochofen), regelmäfsig auch ein Teil des Mangangehalts reduziert und vom Eisen aufgenommen wird, selbst wenn die Temperatur nicht so hoch sein sollte, als für die Reduktion eines gröfseren Mangangehalts erforderlich sein würde.

Durch die Anwesenheit einer stark basischen, zumal kalkreichen Schlacke wird die Reduktion des Mangans befördert, da das Manganoxydul selbst eine kräftige Base ist und um so stärkere Neigung besitzt, in ein Silikat einzutreten, also um so schwieriger reduzierbar ist, je gröfser die Menge der anwesenden Kieselsäure ist.

Bei der Reduktion des Mangans durch Kohle erfolgt stets Kohlenstoffmangan, dessen Kohlenstoffgehalt mit dem Mangangehalte steigt, wie auf Seite 316 angegeben wurde, und etwa 7,5 v. H. beträgt, sofern sonstige Körper nicht zugegen sind. Häufig aber wird neben dem Mangan auch Silicium reduziert, wodurch der Sättigungsgrad für Kohlenstoff sich verringert, und da kaum ein Manganerz vollständig frei von Eisen ist, würde ein eisenfreies Mangan nur aus solchen Verbindungen sich herstellen lassen, welche zuvor chemisch von ihrem Eisengehalte befreit sind.

Je weniger Eisen aber neben dem Mangan reduziert wird, desto höher liegt die zur Reduktion erforderliche Temperatur, und die Darstellung sehr manganreicher Legierungen ist nur in Temperaturen möglich, in denen bereits ein Teil des Mangans Gasform annimmt und sich verflüchtigt, an der Luft zu rotbraunem Manganoxyduloxyd verbrennend.

Die Schwierigkeit der Darstellung manganreicher Legierungen wächst daher mit ihrem Mangangehalte, und der Preis der gleichen Menge Mangans in den Legierungen steigt um so höher, je weniger Eisen neben dem Mangan zugegen ist.

Erreicht aber der Mangangehalt in den durch Reduktion mit Kohlenstoff gewonnenen Legierungen die Höhe von 90 v. H. oder

wenig darüber, so zeigt sich ein eigentümliches Verhalten; das Metall berstet nach kurzer Zeit an verschiedenen Stellen, schwillt förmlich auf und zerfällt schliefslich zu Pulver. Die Ursache dieser Erscheinung ist höchstwahrscheinlich das Entweichen von Wasserstoffgas, welches beim Erstarren zunächst in die Legierung in gebundener Form mit einging und, wenn es allmählich wieder Gasform annimmt, das Metall zum Zerfallen bringt. Solches zerfallenes Mangan, in einer verstopften Flasche aufbewahrt, entwickelt noch nach Jahren einen deutlichen Geruch nach Kohlenwasserstoff[1]). Die Höhe des Mangangehalts, bei welchem jenes Zerfallen eintritt, ist zum Teil von der Beschaffenheit der sonstigen anwesenden Fremdkörper abhängig. Während ein von mir untersuchtes zerfallenes Mangan folgende Zusammensetzung besafs:

Mangan	88,59	v. H.
Eisen	3,91	„ „
Kohlenstoff . . .	7,24	„ „
Silicium	0,24	„ „

fanden sich darin Kugeln von Haselnufsgröfse mit:

Mangan	85,500
Eisen	7,825
Kohlenstoff	6,613
Silicium	0,060,

welche auch nach Jahren noch keine Spur des Zerfallens zeigten.

Das abweichende Verhalten ist also hier durch den um 3 v. H. höheren Mangangehalt der ersteren Legierung bedingt.

Benutzt man als Reduktionsmittel für das Mangan nicht Kohle, sondern ein anderes Metall, z. B. Natrium für die Reduktion aus Manganchlorür[2]) oder Aluminium für die Reduktion aus Manganoxyd, so zerfällt es auch bei höherem Mangangehalte nicht. Durch Reduktion mit Aluminium[3]) stellt man ein Erzeugnis mit etwa 98 v. H. Mangan dar, welches daneben Silicium und Aluminium enthält und nicht zerfällt.

Einflüsse des Mangangehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Manganreiche, kohlenstoffhaltige Eisenlegierungen kristallisieren in Säulen. Deutlich ausgebildet zeigt sich diese Kristallform, wenn der Mangangehalt 30 v. H. oder darüber beträgt.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen grofsen Mangangehalt etwas, aber nicht so beträchtlich erhöht, wie man vielfach annimmt. Nach Osmond[4]) schmilzt eine kohlen-

---

[1]) Irrig ist die mitunter ausgesprochene Behauptung, dafs Oxydation des Mangans die Ursache des Zerfallens sei. Der Sauerstoffgehalt eines von mir untersuchten derartigen Manganpulvers war selbst nach Verlauf mehrerer Jahre unbedeutend.

[2]) Liebigs Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie 1858, Seite 201.

[3]) Goldschmidts aluminothermisches Verfahren: „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 471; 1901, Seit 545.

[4]) Comptes rendus 106, Seite 1156.

stoffhaltige Legierung mit 20 v. H. Mangan bei 1083° C., eine solche mit 50 v. H. Mangan bei 1154° C. Zieht man nun in Betracht, dafs die erstere Legierung etwa 5, die andere etwa 6 v. H. Kohlenstoff enthalten haben wird (Seite 316), so zeigt sich kein grofser Unterschied bei einem Vergleiche der gefundenen Schmelztemperaturen mit denjenigen, welche andere kohlenstoffreiche, aber manganarme Eisensorten besitzen. Dafs ein geringer Mangangehalt (1—2 v. H.) die Schmelztemperatur des Eisens eher erniedrige als erhöhe (wie kleine Mengen Blei die Schmelztemperatur des Zinns, kleine Mengen Silber die des Bleis erniedrigen), läfst sich aus Beobachtungen im Betriebe schliefsen, ohne jedoch bislang durch genauere Untersuchungen nachgewiesen zu sein.

Die Härte des Eisens wird durch einen Mangangehalt gesteigert. In kohlenstoffhaltigem Eisen erhöht ein Mangangehalt den Gehalt an Härtungskohle (Beispiele auf Seite 332); daher erfährt dieses bei Aufnahme von Mangan eine Härtesteigerung sowohl unmittelbar als wegen dieser Zunahme des Gehalts an Härtungskohle. Auffallenderweise aber hält diese Härtezunahme nicht gleichmäfsig mit der Anreicherung des Mangangehaltes Schritt, sondern tritt bei einzelnen Mangangehalten in besonders deutlicher Weise hervor, und die Härte verringert sich wieder, wenn der Mangangehalt fernerhin steigt. Nach Hadfield nimmt der Härtegrad von Eisenmanganlegierungen, welche den Kohlenstoffgehalt des Stahls besitzen, mit dem Mangangehalte zu, bis dieser ungefähr 6 v. H. beträgt, und ein Stahl mit diesem Mangangehalte wird durch keinerlei Werkzeuge angegriffen; alsdann sinkt der Härtegrad wieder bis zu einem Mangangehalte von 10 v. H. Beim Überschreiten dieser Grenze wird die Härte wieder bedeutender, und bei 22 v. H. Mangan ist sie sehr beträchtlich[1]). Ganz zuverlässige Schlufsfolgerungen über den Einflufs des Mangangehalts ermöglichen jedoch diese Angaben nicht, weil der Kohlenstoffgehalt der untersuchten Proben nicht ganz gleich war. Unter den auf Seite 332 und 333 unter 11 und 12 erwähnten zwei Manganstählen mit annähernd gleichem Kohlenstoffgehalte zeigte die Probe 11 mit 10,6 v. H. Mangan im naturharten Zustande einen höheren Gehalt an Härtungskohle als die Probe 12 mit 12,8 v. H. Mangan, und im Einklange hiermit erwies sich die erstere bei der Prüfung mit dem Härtemesser auch etwas härter als die letztere[2]). Inwiefern die Abkühlungsverhältnisse hierbei von Einflufs gewesen waren, liefs sich nicht nachweisen, da die Proben verschiedenen Fabriken entstammten. Weil aber manganreicher Stahl (Manganstahl) schon in naturhartem Zustande reicher an Härtungskohle ist als manganarmer, ist seine Härtungsfähigkeit, d. h. die Zunahme seiner Härte beim Ablöschen in Wasser, weniger deutlich. Bei den erwähnten Manganstählen wuchs der Gehalt an Härtungskohle durch das Ablöschen

bei dem Manganstahl mit 10,6 v. H. Mangan im Verhältnisse 1 : 1,2
„ „ „ „ 12,8 „ „ „ „ „ 1 : 1,7;

---

[1]) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 13, Seite 233; Bd. 15, Seite 461. „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 300; 1891, Seite 993.

[2]) T. Mukai, Studien über Manganstahl, Freiberg 1892, Seite 12.

dagegen bei dem manganarmen, auf Seite 332 unter 9 aufgeführten Werkzeugstahl im Verhältnis 1:3.

Die Prüfung mit dem Härtemesser ergab:

bei dem Manganstahl mit 10,6 v. H. Mangan eine Zunahme der Härte im Verhältnisse 1:1,1,

bei dem Manganstahl mit 12,8 v. H. Mangan eine Zunahme der Härte im Verhältnisse 1:1,4,

während bei manganarmem Stahl eine Härtezunahme im Verhältnisse 1:1,8 zu beobachten war[1]).

Die Festigkeit kohlenstoffarmen Eisens wird durch einen Mangangehalt gesteigert; aber auch hier tritt, wie bei der Zunahme des Gehalts an anderen Körpern, bald eine Grenze ein, über welche hinaus die Festigkeit rasch wieder abnimmt. Dieser Zeitpunkt wird um so früher erreicht, je mehr Kohlenstoff neben Mangan zugegen ist. Beispiele des Einflusses auf die Festigkeitseigenschaften sind in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde gegeben.

Mit der Festigkeit erhöht sich die Elastizitätsgrenze, und zwar noch etwas rascher als diese; die Folge ist, dafs die Zähigkeit und Dehnbarkeit des Eisens mit zunehmendem Mangangehalte sich verringern. Manganreiches Roheisen (Spiegeleisen) und Eisenmangane sind so wenig fest und so spröde, dafs sie leicht im Mörser gepulvert werden können. Über ein abweichendes Verhalten von Manganstahl mit 10—18 v. H. Mangan vergleiche Abteilung drei (Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens).

Der Einflüsse des Mangangehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff und die Formen des Kohlenstoffs im Eisen ist bereits oben (Seite 307, 323, 331) gedacht worden. Mangan befördert hiernach die Entstehung eines kohlenstoffreichen Eisens, und erschwert die Graphit- und Karbidbildung. Es wirkt entgegengesetzt wie Silicium.

Ebenso fanden die Einflüsse des Mangangehalts auf den Schwefelgehalt und auf das Mafs des durch Schwefel erzeugten Rotbruchs auf Seite 357 und 359 Erwähnung.

Eine merkliche Beeinflussung des durch Phosphor im Eisen hervorgerufenen Kaltbruchs durch anwesendes Mangan findet dagegen nicht statt, weder eine Verstärkung der Phosphorwirkung (wie durch Kohlenstoff) noch eine Abschwächung. Auch eine Ausscheidung von Phosphor durch Mangan aus dem Eisen, wie die des Schwefels, findet nicht statt.

Über die Erniedrigung der Haltepunkte kohlenstoffhaltigen Eisens durch einen Mangangehalt vergleiche Seite 336.

Abscheidung des Mangans aus dem Eisen.

Die Abscheidung des im Eisen enthaltenen Mangans erfolgt ziemlich leicht durch Einwirkung oxydierender Körper (Luft, eisenoxydhaltiger Schlacken u. a.) auf das geschmolzene Metall. Die Gegenwart saurer Schlacken befördert, die Gegenwart basischer

[1]) T. Mukai, Studien über Manganstahl.

Schlacken verzögert das Austreten des Mangans. Vor dem Kohlenstoff tritt neben Silicium und Phosphor ein grofser Teil des Mangans schon aus, wenn die Temperatur verhältnismäfsig niedrig liegt (Schmelztemperatur des Roheisens), neben dem Kohlenstoff in höherer Temperatur. Sind aber stark basische Schlacken zugegen, so kann in hoher Temperatur ein Teil des Mangans noch zurückbleiben, nachdem der Kohlenstoff bereits bis auf kleine Mengen entfernt worden ist (Thomasverfahren).

9. Eisen und Kupfer.

Reines Eisen und reines Kupfer vereinigen sich nach Versuchen Steads[1]) in allen Gewichtsverhältnissen; ein Kohlenstoffgehalt des Eisens erschwert die Aufnahme des Kupfers in um so stärkerem Mafse, je höher er selbst ist und macht die Legierung zum Saigern geneigt. Gibt man einer kupferreichen, aber kohlenstofffreien Legierung Gelegenheit, Kohlenstoff aufzunehmen, z. B. durch Schmelzen im Kohlentiegel, so kann eine vollständige Sonderung stattfinden: zu oberst befindet sich kohlenstoffhaltiges kupferärmeres Eisen, zu unterst kohlenstofffreies eisenarmes Kupfer.

Kleine Mengen Kupfer aber werden ohne Schwierigkeit vom Eisen aufgenommen, und da das Kupfer leichter reduzierbar und schwerer oxydierbar ist als das Eisen, wird bei der Verhüttung kupferhaltiger Eisenerze der Kupfergehalt vollständig oder doch fast vollständig reduziert. Es vereinigt sich mit dem Eisen, und ist auch durch Oxydation nicht wie Mangan, Silicium, Kohlenstoff, wieder davon zu trennen, sondern begleitet es durch alle Stufen der Verarbeitung hindurch.

Glücklicherweise sind die Einwirkungen, welche durch einen mäfsigen Kupfergehalt auf die Eigenschaften des Eisens ausgeübt werden, nicht sehr erheblich[2]).

Dafs die Festigkeit reinen Eisens durch einen Kupfergehalt bis zu einer gewissen Grenze gesteigert werden könne, unterliegt keinem Zweifel; aber der in dem gewerblich dargestellten Eisen zufällig anwesende Kupfergehalt ist nicht bedeutend genug, um eine wesentliche Einwirkung in dieser Beziehung hervorzubringen. Mit der Festigkeit steigt die Sprödigkeit, und in Eisensorten, an deren Verhalten bei der Beanspruchung durch Stöfse hohe Ansprüche gestellt werden, sieht man daher einen hohen Kupfergehalt nicht gern.

Ein anderer Einflufs, den ein Kupfergehalt des Eisens auf dieses ausübt, ist die Erzeugung von Rotbruch, ähnlich wie ihn Schwefel hervorruft; aber die Einwirkung des Kupfers in dieser Beziehung ist bedeutend geringer als die des Schwefels. Einiges Nähere hierüber in der dritten Abteilung (Schmiedbarkeit des Eisens).

---

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901, II, Seite 104.

[2]) Es möge hier daran erinnert werden, dafs man kupferreiche Erze überhaupt nicht auf Eisen, sondern zunächst auf Kupfer verarbeiten wird, dessen Preis erheblich höher ist. Daher enthält gewerblich dargestelltes Eisen selten mehr als 0,4 v. H. Kupfer, gewöhnlich weniger.

10. Eisen und Nickel oder Kobalt.

Aufnahme des Nickels und Kobalts im Eisen. Verwendung der Nickeleisenlegierungen.

Beide in der Überschrift genannten Metalle finden sich in kleinen Mengen häufig in den Eisenerzen und verhalten sich beim reduzierenden Schmelzen der letzteren wie das Kupfer, d. h. sie werden ebenfalls reduziert, legieren sich mit dem Eisen und lassen sich auch durch oxydierende Einwirkungen nicht wieder von ihm trennen.

Die Menge des solcherart in das Eisen geführten Nickels oder Kobalts beträgt jedoch in der Regel weniger als 0,1 v. H. Auch hierbei kommt in Betracht, dafs man bei dem hohen Preise des Nickels und Kobalts Erze, welche reicher daran sind, nicht unmittelbar auf Eisen, sondern auf jene Metalle verarbeitet.

Durch Zusammenschmelzen lassen sich sowohl Nickel als Kobalt in beliebigen Mengen leicht mit dem Eisen vereinigen. Früher angestellte Versuche, solche Legierungen zu verwenden, hatten meistens unbefriedigenden Erfolg. Die Ursache davon lag indes nicht sowohl in einer ungünstigen Beeinflussung des Verhaltens des Eisens durch das Metall selbst, als vielmehr in dem Umstande, dafs man damals noch nicht imstande war, ein ausreichend reines Nickel oder Kobalt zu gewinnen. Man führte mit diesen Metallen Kupfer, Arsen, Schwefel und andere Fremdkörper in das Eisen und machte dieses dadurch unbrauchbar.

Erst seit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, nachdem man gelernt hat, jene Metalle reiner als früher darzustellen, hat man sich dem Gegenstande aufs neue zugewendet und dabei gefunden, dafs ein gewisser Nickelgehalt dem schmiedbaren Eisen (Flufseisen) Eigenschaften verleiht, die seine Verwendbarkeit für gewisse Zwecke erhöhen.

Die Herstellung solcher Eisennickellegierungen läfst sich durch Auflösen des Nickels in dem im Tiegel oder Flammofen (Martinofen, siehe Abteilung drei) geschmolzenen Eisen bewirken. Auch ein Zusatz von Nickeloxydul, welches durch kohlenstoffhaltiges Eisen leicht reduziert wird, führt zum Ziele. Legierungen des Eisens mit Kobalt sind wegen des höheren Preises dieses Metalles im grofsen noch nicht dargestellt worden.

Flufseisen, dem man beim Schmelzen einen Nickelzusatz gegeben hat, nennt man Nickelstahl. Er findet vornehmlich Verwendung zur Anfertigung von Panzerplatten, schweren Wellen, an deren Verhalten hohe Ansprüche gestellt werden müssen, und sonstigen Maschinenteilen. Diese Gegenstände enthalten in der Regel 3—5 v. H. Nickel. Die Benutzung des Nickelstahls würde noch weit umfänglicher sein, als es der Fall ist, wenn nicht der hohe Preis des Nickels hier eine Schranke setzte. Der Zusatz von nur 1 v. H. Nickel zum Eisen erhöht dessen Erzeugungskosten um ungefähr ein Drittel.

Einflufs des Nickelgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Über den Einflufs des Nickelgehalts auf die Kristallisation des Eisens scheinen bislang keine Beobachtungen angestellt worden zu sein.

Die Schmelztemperatur des reinen Nickels ist der des reinen Eisens annähernd gleich. Man darf vermuten, dafs durch einen Nickelzusatz die Schmelztemperatur des Eisens etwas, wenn auch nicht erheblich, erniedrigt werde. Ermittelungen hierüber fehlen.

Die Härte des Eisens wächst mit dem Nickelgehalte. Kohlenstoffarmes Eisen erhält nach Versuchen Hadfields[1]) seinen höchsten Härtegrad bei einem Nickelgehalte von etwa 20 v. H., ist indessen bei diesem Nickelgehalte noch feilbar.

Die Festigkeit nimmt mit dem Nickelgehalte zu und erreicht im kohlenstoffarmen Eisen ihr höchstes Mafs bei etwa 16 v. H. Nickel. Sie beträgt hier ungefähr das Dreifache von der Festigkeit des nickelfreien Metalls; Beispiele hierfür sind in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde gegeben. Mit der Festigkeit wächst zwar die Sprödigkeit, aber nicht in dem Mafse, als wenn man dem nickelfreien Eisen durch Erhöhung des Kohlenstoffgehalts die gleiche Festigkeit verliehen hätte. In diesem Umstande ist vornehmlich die Vorzüglichkeit des Nickelstahls bei der Verwendung für Gegenstände begründet, welche auf grofse Festigkeit beansprucht werden.

Die Verarbeitbarkeit des Eisens in Rotglut wird durch einen mäfsigen Nickelgehalt nicht merklich beeinflufst; ein hoher Nickelgehalt (20 v. H. und darüber) erschwert die Verarbeitung.

Über den Einflufs des Nickelgehalts auf die Graphitbildung und die Lage der Haltepunkte im kohlenstoffhaltigen Eisen sind bereits auf Seite 323 und 336 Mitteilungen gegeben.

Abscheidung des Nickels aus dem Eisen.

Da das Nickel schwieriger als Eisen verbrennlich ist, läfst sich eine Abscheidung des Nickels nicht, wie die des Kohlenstoffs, Siliciums, Mangans und anderer Körper, durch Schmelzen unter oxydierenden Einflüssen bewirken. Man sieht deshalb in den Eisenhütten von einer Trennung beider Metalle ab.

II. Eisen und Chrom.

Reduktion und Aufnahme des Chroms.

Wenn man chromhaltige Eisenerze unter reduzierenden Einflüssen mit Kohle verhüttet (Hochofenschmelzen), kann ein Teil des Chroms reduziert und vom Eisen aufgenommen werden. Nach Hadfield geht die Reduktion des Chroms noch leichter als die

[1]) Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Bd. 138 (1899).

des Mangans von statten[1]). Der Fall ist nicht selten, bleibt aber häufig unbeachtet, da der aufgenommene Chromgehalt nicht erheblich zu sein pflegt.

Chromeisenlegierungen mit höherem Chromgehalte kann man durch Schmelzen der Oxyde beider Metalle oder des Chromeisenerzes mit Kohle im Tiegel darstellen. Bei Verwendung von Chromeisenerz mufs dieses mit geeigneten Körpern zur Verschlackung der Fremdkörper beschickt werden. Auch im Hochofen hat man bisweilen Chromeisenlegierungen erzeugt, wenn der Bedarf daran ausreichend grofs war, um diese Betriebsweise zu rechtfertigen. Zuerst, und zwar im Jahre 1878, kam das Verfahren bei dem Eisenwerke zu Terrenoire in Frankreich in Anwendung; seitdem haben sich mehrere, insbesondere französische Werke (Saint-Louis) damit beschäftigt.

Alles durch Reduktion mit Kohle gewonnene Chromeisen enthält Kohlenstoff, dessen Gehalt mit dem Chromgehalte zuzunehmen pflegt. Kohlenstofffreies Chromeisen oder auch reines Chrom wird neuerdings durch Benutzung von Aluminium als Reduktionsmittel dargestellt[2]).

Einflüsse des Chromgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Die Chromeisenlegierungen haben weifse Farbe und zeigen mitunter, insbesondere bei hohem Chromgehalte, ein eigentümliches Gefüge, welches augenscheinlich aus einer Anhäufung zahlreicher nadelförmiger Kristalle hervorgegangen ist. Einzelne solcher Kristallnadeln sind gewöhnlich deutlich erkennbar. Bei Abnahme des Chromgehalts wird das Gefüge dichter, aber selbst im chromhaltigen Stahl mit nicht mehr als $1,_{00}$ v. H. Chrom läfst sich, zumal bei Benutzung des Mikroskops, mitunter noch die Neigung zur Bildung nadelförmiger Kristalle wahrnehmen.

Die Schmelztemperatur wird durch einen Chromgehalt von weniger als 10 v. H. eher erniedrigt als erhöht, steigt aber rasch mit dem Chromgehalte, sobald dieser eine gewisse, bislang noch nicht genau ermittelte und vermutlich auch von dem anwesenden Kohlenstoffgehalte abhängige Grenze überschreitet. Osmond[3]) fand, dafs eine Legierung mit 66 v. H. Chrom und $6,_{47}$ v. H. Kohlenstoff bei 1475° C. noch unvollständig geschmolzen war und eine andere Legierung mit 80 v. H. Chrom und etwa $3,_{5}$ v. H. Kohlenstoff selbst bei 1485° noch keine Spur beginnender Schmelzung erkennen liefs. Dagegen begann ein Stahl mit $5,_{19}$ v. H. Chrom und $0,_{77}$ v. H. Kohlenstoff bereits bei 1380° C. zu schmelzen, während ein chromfreier Stahl mit dem gleichen Kohlenstoffgehalte eine Schmelztemperatur von etwa 1420° C. besafs. Wegen jener Erhöhung der Schmelztemperatur durch einen hohen Chromgehalt wächst mit letzterem die Schwierigkeit der Herstellung chromreicher Legierungen, sofern Kohlenstoff als Reduktionsmittel und Brenn-

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 18.
[2]) „Stahl und Eisen" 1898, Seite 470.
[3]) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 24 (aus Hadfields Abhandlung über Chromeisenlegierungen in the Journal of the Iron and Steel Institute 1892, II).

stoff dient; bei Benutzung von Aluminium als Reduktionsmittel dagegen reicht die durch dessen Verbrennung entwickelte Wärme allein aus, das abgeschiedene Chrom zu schmelzen[1]).

Der Härtegrad kohlenstofffreien Eisens wird nach Hadfields Ermittelungen durch einen Zusatz von Chrom nicht erheblich gesteigert; deutlich aber ist der Einfluſs, wenn das Metall auch kohlenstoffhaltig ist. Chromhaltiger Stahl mit 0,70 v. H. Kohlenstoff und 9,0 v. H. Chrom wird auch im ausgeglühten Zustande von einer harten Feile nicht mehr angegriffen, während ein chromfreier Stahl mit dem nämlichen Kohlenstoffgehalte ohne Schwierigkeit feilbar ist, sofern er nicht durch Ablöschen gehärtet wurde. Beim Ablöschen chromhaltigen Stahls aber genügt eine weniger rasche Abkühlung als beim chromfreien Stahle, die Härte zu steigern, und der durch das Ablöschen erreichbare Härtegrad ist beträchtlicher als der des chromfreien Stahles, selbst wenn dessen Kohlenstoffgehalt höher ist. Man darf hiernach annehmen, daſs der Chromgehalt den Übergang der Härtungskohle in Karbidkohle erschwert.

Auch die Festigkeit des Eisens wird durch einen mäſsigen Chromgehalt erhöht, und zwar die des kohlenstoffhaltigen Eisens (Stahls) stärker als die des kohlenstofffreien; aber mit der Festigkeit wächst auch die Sprödigkeit, obgleich vielleicht nicht ganz in dem Maſse, wie durch entsprechende Erhöhung des Kohlenstoffgehalts[2]). Bei einem Chromgehalte von etwa 5 v. H. wird die Grenze erreicht, deren Überschreiten eine Verminderung statt Erhöhung der Festigkeit herbeiführt; aber solcher Stahl ist sehr spröde.

Von jener durch einen Chromgehalt erreichbaren Steigerung der Härte, Härtungsfähigkeit und Festigkeit macht man bei der Stahldarstellung Anwendung, wenn die Aufgabe vorliegt, für gewisse Verwendungen einen besonders widerstandsfähigen Stahl zu gewinnen. Man benutzt hierbei jene chromreichen Legierungen, um sie in entsprechenden Gewichtsverhältnissen dem geschmolzenen chromfreien Stahle zuzusetzen. Je höher aber der Chromgehalt ist, desto schwieriger verarbeitbar ist der Stahl, desto leichter entstehen Miſserfolge insbesondere beim Härten. Bei nur 0,5 v. H. Chrom neben etwa 1 v. H. Kohle ist schon Vorsicht beim Härten erforderlich, um das Zerspringen des Stahls zu verhüten; ein Gehalt von 1 v. H. Chrom wird bei Stahlwaren, welche gehärtet werden, selten überschritten.

Auch dem Nickelstahl (Seite 369) setzt man zur Erhöhung seiner Härte bisweilen Chrom zu[3]).

Des Einflusses, welchen ein Chromgehalt des Eisens auf dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff ausübt, wurde auf Seite 316 gedacht.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1888, Seite 470.

[2]) Beispiele des Einflusses eines Chromgehalts auf die Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens sind in der dritten Abteilung gegeben.

[3]) Näheres über die Eigenschaften der Nickelchromeisenlegierungen: „Stahl und Eisen" 1895, Seite 721; auſserdem in der unter Literatur genannten Abhandlung von L. Dumas, Recherches sur les aciers au nickel.

Abscheidung des Chroms aus dem Eisen.

Die Abscheidung erfolgt unter oxydierenden Einflüssen in gleicher Weise wie die des Mangans. Im schmiedbaren Eisen, welches aus chromhaltigem Roheisen durch Frischen erzeugt wurde, kann daher nur ein geringer Teil des Chroms zurückbleiben. Ein von mir untersuchtes Flufseisen (Thomaseisen), aus Roheisen mit 0,073 v. H. Chrom durch Frischen erzeugt, enthielt noch 0,018 v. H. Chrom; 8/10 des ursprünglichen Chromgehaltes waren demnach ausgeschieden[1]).

12. Eisen und Wolfram.

Aufnahme des Wolframs im Eisen.

Das Wolfram ist zwar ein ziemlich leicht reduzierbares Metall, findet sich aber in Eisenerzen nur selten, und daher enthält auch gewöhnliches Roheisen oder schmiedbares Eisen kaum jemals Wolfram in solcher Menge, dafs es von Bedeutung für das Verhalten des Eisens werden könnte. Dagegen stellt man unter Benutzung von Wolframerzen Wolframeisenlegierungen dar, um sie als Zusatz bei der Stahlerzeugung in Fällen zu benutzen, wo man dem Stahle einen besonders hohen Härtegrad verleihen will.

Schon im 18. Jahrhundert wurden durch die Gebrüder d'Elhuyar Legierungen des Wolframs mit Eisen und anderen Metallen erzeugt, ohne dafs jedoch eine weitere Anwendung davon gemacht worden wäre[2]); später untersuchte Berthier etwas eingehender die Eigenschaften dieser Legierungen[3]); in gröfserem Mafsstabe werden sie zu dem erwähnten Zwecke seit etwa 1855 gewonnen[4]).

Man benutzt für die Herstellung der Eisenwolframlegierungen den natürlich vorkommenden Wolframit, dessen Zusammensetzung der Formel $Fe_2Mn_3W_5O_{20}$ entspricht, oder auch Scheelit von der Zusammensetzung $CaWO_4$. Das Erz wird zur Austreibung des Schwefels und Arsens geröstet, ausgelaugt und hierauf mit Kohle im Tiegel geschmolzen. Auch in französischen Hochöfen hat man bisweilen solche Legierungen dargestellt; der Bedarf daran ist jedoch nicht so grofs, um einen dauernden Hochofenbetrieb darauf zu ermöglichen[5]).

Von dem Mangangehalte des Wolframits geht ein Teil in die Legierung mit über, sofern man nicht zuvor eine Trennung der Metalle auf chemischem Wege vornimmt; in Rücksicht auf die nicht unerheblichen Kosten dieses Verfahrens sieht man bisweilen davon ab, und die aus jenem Erze erzeugten Legierungen ent-

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 814. Versuche Rileys hierüber: The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, I, Seite 104.

[2]) Histoire et mémoires de l'académie royale des sciences, inscriptions et belles lettres de Toulouse, 1874, Bd. 2, Seite 141.

[3]) Traité des essais par la voie sèche, Bd. 2, Seite 215 und 344.

[4]) Berg- und hüttenm. Zeitung 1859, Seite 275.

[5]) A. von Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1879, Seite 78.

halten alsdann neben Wolfram Mangan; mitunter ist ihr Mangangehalt sogar so beträchtlich, dafs eine absichtliche Anreicherung stattgefunden zu haben scheint.

Ein mäfsiger Wolframgehalt erniedrigt, ein grofser erhöht die Schmelztemperatur der Legierungen. Aus diesem Grunde stellt man durch reduzierendes Schmelzen mit Kohle selten reichere Legierungen als mit 40 v. H. Wolfram dar. Beispiele der Zusammensetzung dieser Legierungen sind u. a.:

	Fe	W	Mn	C	P
Im Tiegel erzeugt, von mir untersucht:	67,98	29,12	Spur	1,17	n. best.
Im Hochofen erzeugt, nach Kerpely[1]):	30,00	24,25	41,50	5,65	0,14

Der hohe Kohlenstoffgehalt der zweiten Legierung ist vermutlich durch ihren hohen Mangangehalt bedingt.

Wolframreichere Legierungen lassen sich im elektrischen Ofen oder durch Benutzung von Aluminium als Reduktionsmittel gewinnen.

Einflufs des Wolframgehalts auf die Eigenschaften des Eisens.

Legierungen mit hohem Wolframgehalte sind weifs, hart, spröde. Wie oben erwähnt wurde, beabsichtigt man durch den Zusatz des Wolframs zum Stahl dessen Härte über das Mafs hinaus zu steigern, welches durch den Kohlenstoffgehalt allein erreichbar ist; sehr wolframreicher Stahl bedarf, wenn er zugleich kohlenstoffreich ist, nicht einmal einer künstlichen Härtung durch Ablöschen, um als Werkzeugstahl zur Bearbeitung sehr harter Gegenstände, z. B. von Hartgufsstücken, benutzbar zu sein. Für diesen Zweck erzeugt man daher Wolframstahl mit 2—9 v. H. und mitunter noch mehr Wolfram. Über den Einflufs dieses Wolframgehalts auf die Schmiedbarkeit, Schweifsbarkeit und sonstigen, dem schmiedbaren Eisen eigentümlichen Eigenschaften ist in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde Näheres mitgeteilt.

Die Festigkeit des Eisens wird durch einen mäfsigen Wolframgehalt gesteigert, die Zähigkeit verringert. Einige Beispiele sind in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde gegeben.

Über den Einflufs des Wolframgehalts auf die Lage der Haltepunkte kohlenstoffhaltigen Eisens wurde auf Seite 336 Mitteilung gemacht.

13. Eisen und Arsen oder Antimon.

Aufnahme der genannten Körper im Eisen.

Arsen und Antimon finden sich in kleinen Mengen in zahlreichen Eisenerzen; ein grofser Gehalt würde die Erze unbenutzbar für die Eisendarstellung machen. Werden die Erze reduzierend geschmolzen, so wird der gröfste Teil des Gehalts an jenen Körpern von dem entstehenden Eisen aufgenommen und begleitet dieses durch alle Abschnitte der Verarbeitung[2]). Eine Verschlackung

[1]) A. von Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1879, Seite 78.

[2]) Über das Verhalten des Arsens beim Rösten der Erze vergl. Seite 253.

des Arsens oder Antimons durch Kalkerde oder andere Körper (wie beim Schwefel) findet nicht statt; flüchtigen Arsenverbindungen entzieht metallisches Eisen mit Begierde ihren Arsengehalt. Selbst Dämpfe von arseniger Säure werden durch metallisches Eisen unter Bildung von Arseneisen und Eisenoxydul zersetzt. Eine Abscheidung des aufgenommenen Arsens aus dem Eisen aber ist nicht möglich [1]). Man findet daher in den meisten Eisensorten kleine Mengen Arsen, die zwar selten bedeutend genug sind, um für sich allein Einflüsse auf die Eigenschaften des Eisens auszuüben, indessen, wenn sie neben anderen, in gleicher oder ähnlicher Weise auf das Eisen wirkenden Körpern auftreten (Phosphor, Sauerstoff, Kupfer), deren Einwirkung verstärken können. Selten beträgt der Arsengehalt im gewerblich dargestellten Eisen mehr als 0,05 v. H., gewöhnlich weniger; auch der Antimongehalt erreicht nur ausnahmsweise jenes Mafs.

Einflüsse auf das Verhalten des Eisens.

Über den Einflufs eines Antimongehalts liegen nur vereinzelte, zum gröfsten Teile aus älterer Zeit stammende Ermittelungen vor. Es ergibt sich daraus, dafs ein dem Eisen absichtlich zugesetzter Antimongehalt dieses hart, spröde, rot- und kaltbrüchig macht. Schon ein Gehalt von 0,1 v. H. soll deutliche Einwirkung üben, ein Gehalt von mehr als 1,0 v. H. das Eisen gänzlich unbrauchbar machen [2]).

Umfassender sind die Untersuchungen über den Einflufs des Arsengehalts. Auch dieser ist für die Brauchbarkeit des Eisens in keiner Beziehung günstig, aber man hat das Mafs der Einwirkung früher oft überschätzt.

Ein hoher Arsengehalt erniedrigt die Schmelztemperatur, verringert die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Kohlenstoff und erschwert die Graphitbildung. Er wirkt demnach ähnlich wie Schwefel [3]).

Die Festigkeit schmiedbaren Eisens wird nach Versuchen Steads [4]) durch einen Arsengehalt bis 4 v. H. gesteigert, aber das Metall ist bei diesem Gehalte sehr spröde. Eine Zunahme der Sprödigkeit zeigt sich bereits, wenn der Arsengehalt über 0,2 v. H. steigt. Weniger leidet die Schmiedbarkeit in Rotglut; Eisen mit 4 v. H. Arsen war in Rotglut noch schmiedbar. Sind aber neben dem Arsen Körper zugegen, welche ebenfalls die Schmiedbarkeit

---

[1]) Versuche von Pattinson und Stead über die Aufnahme des Arsens durch Eisen und die Möglichkeit der Abscheidung: The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, Seite 171; daraus in „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 537.

[2]) Einiges Nähere über die betreffenden Versuche: Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 314.

[3]) In gegossenen Kanonenkugeln aus Algier fand Berthier 9,8 v. H. Arsen, 1,5 v. H. Kohlenstoff ohne Schwefel, Mangan oder Kupfer; in einer anderen Kugel sogar 27,0 v. H. Arsen neben 1.0 v. H. Kohlenstoff (Annales des mines 1837, Seite 501). Ein in Percys Laboratorium untersuchtes Geschofs aus Sinope enthielt 16,20 v. H. Arsen (Wedding, Eisenhüttenkunde, 2 Aufl., Bd. 1, Seite 310). In allen Fällen war das Metall weifs, hart, spröde.

[4]) „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 653. Einiges Nähere in der dritten Abteilung.

schädigen, so kann durch ihr Zusammenwirken schon bei verhältnismäſsig niedrigem Gehalte das Eisen unbrauchbar werden. Ein im Eisenhüttenlaboratorium der Freiberger Bergakademie untersuchtes Fluſseisen, welches

C	As	S	Cu	Mn	P
0,12	0,86	0,05	0,07	1,36	0,06

enthielt, war trotz des hohen Mangangehalts stark rotbrüchig.

Genauere Ermittelungen darüber, inwiefern der Einfluſs des Arsengehaltes durch die Anwesenheit eines dritten Körpers (Kohlenstoff, Mangan) bedingt wird, fehlen noch. Die von Stead untersuchten Proben waren sämtlich manganhaltig und meistens kohlenstoffarm.

14. Eisen und Zinn.

Aufnahme des Zinns im Eisen.

In den Eisenerzen tritt selten Zinn in bemerkbaren Mengen auf, und daher bleibt dieses Metall bei der Verhüttung der Eisenerze ohne Belang. Wohl aber kann durch Zufall Zinn in das Eisen geführt werden: durch Weiſsblechabfälle, welche zwischen das zur Aufarbeitung bestimmte Alteisen geraten sind, durch emaillierte Kochgeschirre[1]), oder in anderer Weise. Daher kann man im Eisen, welches durch Aufarbeitung von solchem Alteisen gewonnen wurde, insbesondere im Fluſseisen (Martineisen), mitunter einen Zinngehalt entdecken, der jedoch nur selten den Betrag von 0,1 v. H. erreicht.

Einflüsse des Zinngehalts auf das Verhalten des Eisens.

Setzt man eine gröſsere Menge Zinn zu geschmolzenem Roheisen, so wird von dessen Kohlenstoffgehalte ein reichlicher Teil ausgeschieden; Zinn verringert demnach, wie Schwefel, Arsen und andere Körper, das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff[2]).

Als Bestandteil des schmiedbaren Eisens ist das Zinn unwillkommen, aber das Maſs seines Einflusses ist früher stark überschätzt worden. Billings gab an, daſs ein Eisen mit 0,78 v. H. Zinn und 0,06 v. H. Kohlenstoff unschmiedbar und vollständig spröde sei[3]); dagegen fand man bei Versuchen in Bismarckhütte, daſs Eisen mit 0,68 v. H. Zinn und 0,69 v. H. Kohlenstoff gut schmiedbar war und erst bei einem Zinngehalte von 1,52 v. H. deutlicher Rotbruch sich zeigte[4]). Auch die Sprödigkeit des Eisens nimmt den erwähnten Versuchen zufolge mit dem Zinngehalte nicht in dem Maſse zu, wie man früher allgemein glaubte.

---

[1]) Weiſsbleche sind verzinnte Bleche; Email oder Glasschmelz enthält fast stets Zinnoxyd, welches durch den Kohlenstoffgehalt des Eisens reduziert werden kann.

[2]) Versuche Eyfferts: Berg- und hüttenm. Zeitung 1861, Seite 142; Versuche Rammelsbergs: dessen Handbuch der chemischen Metallurgie, 2. Aufl., Seite 112.

[3]) Dinglers polyt. Journal, Bd. 228, Seite 427, aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 5, Seite 450.

[4]) „Stahl und Eisen" 1901, Seite 330.

15. Eisen und Zink oder Wismut.

Aufnahme der genannten Metalle im Eisen.

Wie auf Seite 291 erwähnt wurde, ist die Aufnahmefähigkeit des Eisens für Zink und Wismut beschränkt.

Zink bildet einen häufigen Begleiter der Eisenerze; mitunter ist nur die Höhe des Zinkgehalts entscheidend, ob man das Erz zweckmäfsiger als Eisen- oder als Zinkerz verwertet (Oberschlesien). Bei der Verhüttung zinkhaltiger Eisenerze in hoher Temperatur und unter stark reduzierenden Einflüssen (Hochofenschmelzen) wird zwar das Zink ziemlich vollständig reduziert, aber das geringe Vereinigungsbestreben des Eisens zum Zink und die Flüchtigkeit des Zinks in hohen Temperaturen bewirken, dafs das reduzierte Zink in jenem Falle mit dem Gasstrome davongeführt wird, um dann später bei der Berührung mit oxydierenden Gasen — freiem Sauerstoff, Wasserdampf oder Kohlensäure — wieder zu Zinkoxyd oxydiert zu werden. In den Eisenhochöfen, welche zinkische Erze verhütten, setzt sich dieses Zinkoxyd, vermischt mit kleineren Mengen metallischen Zinks und fremder Körper, zum Teile in dem oberen kälteren Teile des Ofenschachts ringsherum an den Wänden fest, hier einen Ansatz bildend, welcher Gichtschwamm genannt wird, und der von Zeit zu Zeit losgebrochen werden mufs, damit er nicht eine Verstopfung des Ofens herbeiführe. Man verarbeitet ihn dann auf den Zinkhütten auf Zink. Näheres hierüber in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde.

In dem Eisen, welches aus zinkhaltigen Erzen erzeugt wurde, ist kaum jemals mehr als eine Spur Zink gefunden worden. Ein von mir untersuchtes graues Roheisen eines westfälischen Kokshochofens enthielt zwar eine deutliche Spur Zink; weifses, aus zinkreichen Erzen erblasenes Roheisen eines oberschlesischen Hochofens war dagegen gänzlich zinkfrei, während die daneben gefallene Schlacke 0,03 v. H. Zinkoxyd enthielt. Versuche, den Zinkgehalt des zuerst erwähnten grauen Roheisens durch Zusatz zum geschmolzenen Metalle anzureichern, hatten sehr unbedeutenden Erfolg; das Zink verdampfte, und das erstarrte Metall enthielt nur 0,029 v. H. Zink[1]).

Kleinere Mengen Eisens werden dagegen von gröfseren Mengen Zinks ohne Schwierigkeit gelöst. Auf dem Boden eiserner Kessel, in welchen Zink längere Zeit flüssig erhalten wird, bildet sich eine Legierung, deren Schmelzpunkt höher liegt als der des Zinks, und welche von Zeit zu Zeit entfernt werden mufs, damit sie nicht die Wärmeübertragung an das Zink hindere. Sie besitzt grauweifse Farbe, ein grofsblättriges Gefüge und enthält gewöhnlich neben Zink etwa 4 v. H. Eisen und kleinere Mengen Kohlenstoffs. Eine solche von mir untersuchte Legierung enthielt in Hundertteilen:

Fe	C	Zn
4,03	0,33	95,64.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 812.

Auch beim Läutern des Zinks, indem man es lange Zeit flüssig erhält, scheiden sich mitunter ähnliche Legierungen ab. Eine Legierung, zwischen ausgeschiedenem Blei und dem reineren Zink abgelagert, von Rosamundenhütte stammend und von mir untersucht, enthielt 6,83 v. H. Eisen, daneben Spuren von Blei und Schwefel. Sie war feinkörnig, grauweifs.

Wismut findet sich weit seltener in Eisenerzen; ziemlich spärlich sind daher auch die Beobachtungen über das Verhalten des Wismuts bei Verhüttung wismuthaltiger Erze. Lundström beobachtete, dafs in einem schwedischen Hochofen metallisches Wismut zum Teil in die Ofenwände eingedrungen, zum anderen Teil mit dem Zink dampfförmig davon geführt worden war und in dem oben erwähnten Gichtschwamm sich abgelagert hatte, während das erzeugte Eisen ganz frei von Wismut war[1]). Das Wismut verhält sich demnach bei der Verhüttung der Erze ebenso wie das Zink.

Auch durch Zusatz von Wismut zu geschmolzenem Eisen ist es nicht gelungen, diesem einigermafsen erhebliche Mengen davon zuzuführen; nur Spuren von Wismut, im höchsten Falle 0,08 v. H., wurden im Eisen gefunden[2]).

Einflufs auf die Eigenschaften des Eisens.

In Anbetracht der geringen Aufnahmefähigkeit des Eisens für die in Rede stehenden Metalle kann auch deren Einflufs nicht erheblich sein. Nach Billings sollen kleine Mengen Zink von schmiedbarem Eisen aufgenommen werden können und dieses rotbrüchig machen; ebenso soll sich Wismut gegen Eisen verhalten[3]); eine Bestätigung hat jedoch diese vermeintliche Beobachtung nicht gefunden.

16. Eisen und Aluminium.

Aufnahme des Aluminiums durch Eisen.

Beim Schmelzen von tonerdehaltigen Eisenerzen im Hochofen wird auch unter stark reduzierenden Einflüssen Aluminium nicht reduziert. Wenn mitunter Analysen von Roheisen veröffentlicht worden sind, in welchen man Aluminium zu finden geglaubt hatte, so darf man neueren Beobachtungen gemäfs annehmen, dafs hier Analysenfehler vorlagen, welche um so leichter auftreten können, da es für die zuverlässige Bestimmung kleiner Mengen Aluminium neben viel Eisen bis vor nicht langer Zeit kein ganz zuverlässiges Verfahren gab, auch Roheisen nicht selten tonerdehaltige Schlacke eingeschlossen enthält. Mir selbst ist es niemals gelungen, Aluminium im Roheisen aufzufinden, selbst dann nicht, wenn es von anderer Seite als aluminiumhaltig bezeichnet worden war. Dagegen

1) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 167; aus Jernkontorets Annaler 1890, Heft 5.

2) Die Angabe rührt von Karsten her und ist in dessen Eisenhüttenkunde, welche in 3. Aufl. im Jahre 1841 erschien, enthalten.

3) Wie Fufsanmerkung 3 auf Seite 375.

erhielt Mrázek beim Schmelzen von Eisendraht mit Kryolith ($Na_6Al_2F_{12}$), Quarz und Natrium eine Legierung, welche in Hundertteilen

Fe	Al	Si	C
91,59	2,80	5,95	0,16

enthielt, und durch Zusammenschmelzen beider Metalle oder durch Anwendung des elektrischen Stromes bei der Reduktion durch Kohle lassen sich Legierungen in beliebigen Gewichtsverhältnissen erzeugen.

Einflüsse auf die Eigenschaften des Eisens.

Aluminiumeisenlegierungen sind, wie schon Deville[1]) fand, bei gröfserem Aluminiumgehalte hart, spröde und kristallisieren in Nadeln.

Ein geringer Aluminiumgehalt (weniger als 2 v. H.) steigert die Festigkeit des Eisens unter Verminderung der Zähigkeit. Diese Verminderung ist unbedeutend, aber immerhin merklich, wenn der Aluminiumgehalt nicht über 0,1 v. H. beträgt, nimmt indes rasch zu, wenn der Aluminiumgehalt steigt[2]).

Häufige Anwendung findet ein Aluminiumzusatz bei der Flufseisenerzeugung zur Zerstörung des gelösten Eisenoxyduls und Ausscheidung des Sauerstoffs. In Rücksicht aber auf die Erhöhung der Sprödigkeit, welche ein im Eisen zurückbleibender Aluminiumgehalt hervorruft, mufs jener Zusatz derartig bemessen werden, dafs er eben ausreichend ist, die Sauerstoffausscheidung zu bewirken, ohne einen erheblichen Überschufs zu hinterlassen. Näheres hierüber in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde.

Die Schmelztemperatur des Eisens wird durch einen Aluminiumgehalt nicht oder doch nur unbedeutend erniedrigt. Osmond fand als Schmelztemperatur einer Eisenaluminiumlegierung mit 5,08 v. H. Aluminium, 0,15 v. H. Kohle, 0,20 v. H. Silicium 1475° C., also nahe der des reinen Eisens (1530° C.), obgleich auch der anwesende Silicium- und Kohlenstoffgehalt zur Erniedrigung der Schmelztemperatur beitragen mufsten[3]).

Die Dünnflüssigkeit des Eisens wird durch einen Aluminiumgehalt verringert; Eisen mit 0,1 v. H. Aluminium ist auch bei starker Überhitzung dickflüssig.

Die Schmiedbarkeit des Eisens hört bei einem Aluminiumgehalte von etwas über 5 v. H. auf[4]).

Die Einflüsse eines Aluminiumgehalts auf das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff und auf die Kohlenstoffformen sind bereits oben (Seite 317, 321) ausführlicher besprochen worden.

---

[1]) H. Sainte Claire-Deville, De l'aluminium, ses propriétés, sa fabrication et ses applications. Paris 1859, Seite 40.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, Seite 189 (Hadfield).

[3]) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 637; auch The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, Seite 161.

[4]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, Seite 177.

Abscheidung des Aluminiums aus dem Eisen.

Durch oxydierendes Schmelzen aluminiumhaltigen Eisens wird das leichtverbrennliche Aluminium rasch entfernt.

17. Eisen und Titan. Vanadin.

Reduktion und Aufnahme der genannten Körper im Eisen.

Der gröfsere Teil der in manchen Eisenerzen enthaltenen Titansäure geht wegen der Schwerreduzierbarkeit des Titans bei der Verhüttung der Erze in die Schlacke, ein geringerer Teil kann vom Eisen aufgenommen werden. In Roheisensorten läfst sich daher bisweilen ein Titangehalt bis 0,2 v. H. nachweisen, selten jedoch mehr [1]). Eine in hexagonalen Tafeln kristallisierte Verbindung von der Zusammensetzung

Eisen	Kohlenstoff	Titan	Schwefel
1,82	9,82	62,82	22,64

wurde von Blair und Shimer im grauen Roheisen gefunden [2]). Eine Verbindung des Titans mit Kohlenstoff und Stickstoff, Cyanstickstofftitan genannt und in kupferroten Würfeln kristallisiert, findet man nicht selten in Eisenhochöfen nach dem Ausblasen, eingesprengt in den mit Schlacke durchsetzten Eisenklumpen, den „Sauen“, welche am Boden des Ofens zurückbleiben. Nach Wöhlers Untersuchung [3]) besteht diese Verbindung aus Cyanstickstofftitan von der Formel Ti_5CN_4, und nach Zincken ist sie in sehr hoher Temperatur flüchtig. Auch im Roheisen und Eisenmangan hat man nach dem Auflösen in Säuren die gleiche Verbindung als Rückstand gefunden [4]). Durch reduzierendes Schmelzen von Titansäure mit Eisen oder Eisenoxyden und Kohle im Tiegel ist es nur in einzelnen Fällen geglückt, Eisen mit gröfserem Titangehalte darzustellen. Sefström erhielt in einem derartigen Falle ein sehr hartes, aber schmiedbares Eisen mit 4,78 v. H. Titan. Durch Schmelzen von Titansäure mit Kohle im elektrischen Ofen läfst sich nach Moissan [5]) kohlenstoffhaltiges, aber übrigens reines Titan darstellen, dessen Kohlenstoffgehalt mindestens 2,0 v. H. beträgt und bis 20,0 v. H. steigen kann. Letzterer Gehalt entspricht der Zusammensetzung eines Karbids von der Formel TiC. Solches kohlenstoffhaltiges Titan ist sehr hart und löst sich leicht in geschmolzenem Eisen. Versuchsweise hat man es neuerdings als Zusatz bei der Stahlbereitung benutzt.

Vanadin findet sich mitunter, und zwar in kleinen Mengen ziemlich häufig, in Roheisen, welches aus vanadinhaltigen Erzen erblasen worden war. Bohnerze und manche Magneteisenerze enthalten nicht selten Vanadin, daneben meistens Chrom, und von beiden Metallen geht dann beim reduzierenden Schmelzen im

---

1) Beispiele titanhaltigen Roheisens: „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 812.
2) Engineering and Mining Journal, Bd. 72 (1901), Seite 595.
3) Dinglers polyt. Journal, Bd. 115, Seite 75.
4) Engineering and Mining Journal, Bd. 56, Seite 664 (Hogg).
5) Annales de chimie et de physique, Reihe 7, Bd. 9 (1896), Seite 229.

Hochofen leicht ein Teil in das erfolgende Roheisen über. Selten steigt jedoch der Gehalt des Roheisens an Vanadin über 0,20 v. H., meistens ist er geringer[1]), und bei der Untersuchung des Roheisens wird er leicht übersehen, wenn man nicht besonders darauf prüft. Durch Anwendung von Aluminium als Reduktionsmittel erzeugte Hélouis Vanadineisenlegierungen mit höherem Vanadingehalte und benutzte sie versuchsweise als Zusatz beim Stahlschmelzen[2]). Der hohe Preis des Vanadins macht es unwahrscheinlich, daſs je eine umfänglichere Verwendung davon gemacht werden könnte.

Einfluſs auf die Eigenschaften des Eisens.

Daſs ein Titangehalt die Härte des Eisens erhöhe, wurde bereits erwähnt; unentschieden bleibt hierbei noch die Frage, ob dieser Einfluſs unmittelbar stattfinde oder, wie der Einfluſs des Chromgehalts, durch Vermehrung des Gehalts an Härtungskohle. Nach Versuchen Guillets ist der Einfluſs, den es auf die Festigkeitseigenschaften und Härte des Stahls ausübt, nicht so erheblich, daſs eine ausgedehnte Anwendung eines Zusatzes von Titan beim Stahlschmelzen zu erwarten sein könnte[3]). Rossi dagegen empfiehlt einen Zusatz zum Roheisen, wenn die Aufgabe vorliegt, dessen Festigkeit zu erhöhen.

Vanadin steigert schon bei mäſsigem Zusatze (bis 1 v. H.) ziemlich erheblich die Festigkeit und Härte, ohne daſs die Sprödigkeit im gleichen Verhältnisse zunimmt[4]).

Abscheidung aus dem Eisen.

Durch oxydierende Einflüsse werden beide in Rede stehende Metalle aus dem Eisen abgeschieden, Titan noch leichter als Vanadin. Im schmiedbaren Eisen ist daher Titan nie oder nur höchst selten nachgewiesen worden, sofern es nicht absichtlich diesem beim Schmelzen im Tiegel zugesetzt wurde, während Vanadin in kleinen Mengen bisweilen zugegen ist. Im Taberger Schmiedeeisen wurde das Vanadin zuerst durch Sefström entdeckt. Ein von mir untersuchtes Fluſseisen, aus Roheisen mit 0,073 v. H. Vanadin erzeugt, enthielt noch 0,001 v. H. Vanadin[5]).

Auch in den auf Seite 362 erwähnten „Wanzen", Ausscheidungen auf flüssigem Eisen, ist mitunter Vanadin nachgewiesen worden. Ein Beispiel hierfür ist auf derselben Seite gegeben.

18. Eisen und Blei nebst Silber.

Blei findet sich nicht selten in Eisenerzen und wird mit dem Eisen reduziert. Daſs jedoch das Blei sich nicht mit dem Eisen vereinige, wurde schon früher erwähnt. Das reduzierte Blei

[1]) Beispiele vanadinhaltigen Roheisens: „Stahl und Eisen" 1894, Seite 813; 1896, Seite 615.
[2]) Bulletin de la Société d'encouragement 1896, Seite 904; daraus in „Stahl und Eisen" 1896, Seite 615.
[3]) Revue de métallurgie 1904, Seite 506.
[4]) Revue de métallurgie 1904, Seite 524.
[5]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 814.

sondert sich deshalb vermöge seines gröfseren spezifischen Gewichts von dem Eisen und kann getrennt von diesem gewonnen werden. Beim Hochofenbetriebe macht man nicht selten Anwendung hiervon. (Näheres in der zweiten Abteilung der Eisenhüttenkunde.) Häufig enthält das Blei Silber, welches sich ebenfalls schwierig mit dem Eisen, leicht dagegen mit dem Blei vereinigt und mit diesem gemeinschaftlich gewonnen werden kann.

In einem aus bleiischen Erzen mit Koks erzeugten weifsen Roheisen wurden von mir 0,003 v. H. Blei, in einem grauen Holzkohlenroheisen 0,005 v. H. Blei gefunden. Der Versuch, in einem bleifreien Roheisen Blei aufzulösen, mifsglückte dagegen gänzlich; das erstarrte Metall enthielt keine Spur Blei [1]). Bei dieser geringen Aufnahmefähigkeit des Eisens für Blei sind auch keine wahrnehmbaren Einflüsse von dessen Anwesenheit zu erwarten.

Der höchste Silbergehalt, welchen Eisen aufzunehmen vermag, beträgt nach Versuchen von Faraday und Stodart 0,2 v. H., ohne dafs dieser Gehalt die Eigenschaften des Eisens in bemerkbarer Weise zu beeinflussen vermag [2]); ist zugleich Blei zugegen, so entzieht dieses, wie erwähnt, das Silber dem Eisen. In einem aus Spateisenerzen mit Koks erblasenen Roheisen wurde von mir 0,0018 v. H. Silber gefunden; ein gröfserer Silbergehalt (0,03 v. H.) war in die auf der Oberfläche des Roheisens schwimmenden „Wanzen“ übergegangen [3]).

19. Eisen und Gold, Platin, Osmium, Iridium, Palladium.

Mit den in der Überschrift genannten Metallen läfst sich das Eisen in allen Gewichtsverhältnissen vereinigen, aber der hohe Preis jener Metalle schliefst von vornherein jede Verwendung der Legierungen im Grofsbetriebe aus. Im gewerblich dargestellten Eisen mögen bisweilen sehr kleine Mengen der in Rede stehenden Metalle vorkommen, aber sie entgehen in der Regel der Beachtung. Ein in der Sammlung der Freiberger Bergakademie befindliches Probestück eines zu Jekatarinenburg erzeugten Roheisens enthält 0,001 v. H. Gold [4]).

20. Eisen und Molybdän, Bor.

Sehr kleine Mengen von Molybdän sind mitunter im Eisen nachweisbar [5]), ohne in bemerkbarer Weise auf dessen Eigenschaften einzuwirken. Bei der Stahlerzeugung setzt man bisweilen absichtlich dem Stahle Molybdän in Gewichtsmengen bis zu 3 v. H. zu, um dessen Härte zu erhöhen, aber der hohe Preis des Molybdäns verbietet dessen umfängliche Benutzung für diesen Zweck [6]).

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 813.
[2]) Philosophical Transactions 1822, Seite 255.
[3]) Die vollständige Zusammensetzung dieser „Wanzen“ ist auf Seite 362 unter II mitgeteilt.
[4]) Näheres über die mit den betreffenden Legierungen des Eisens angestellten Versuche enthält Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 404.
[5]) Beispiel: „Stahl und Eisen“ 1897. Seite 482.
[6]) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 717.

Bor ist ein schwer reduzierbarer Körper und in dem gewöhnlichen Eisen bislang nicht nachgewiesen. Versuche über den Einfluſs des dem geschmolzenen Eisen zugesetzten Bors haben gezeigt, daſs letzteres leicht vom Eisen aufgenommen wird und dessen Sättigungsvermögen für Kohlenstoff stark abmindert. Aus geschmolzenem Roheisen vermag nach Versuchen von Moissan[1]) Bor die gröſste Menge des Kohlenstoffgehalts zur Ausscheidung zu bringen, wenn es in genügender Menge zugesetzt wird. Ein Borgehalt im schmiedbaren Eisen erhöht dessen Festigkeit auf Kosten der Zähigkeit und verringert die Härtungsfähigkeit[2]). Anwendung im groſsen ist jedoch bislang nicht davon gemacht worden.

21. Eisen und Calcium, Magnesium, Baryum, Strontium, Kalium, Natrium.

Calcium und Magnesium legieren sich nicht ohne weiteres mit dem Eisen. Weder Gay-Lussac, noch Thenard gelang es, calciumhaltiges Eisen darzustellen[3]); Versuche, durch Zusatz von Calciumkarbid oder metallischem Magnesium zu geschmolzenem Eisen diesem Calcium oder Magnesium zuzuführen, blieben gleichfalls erfolglos[4]). Wenn diese Metalle früher bisweilen im Eisen gefunden wurden, so darf man annehmen, daſs sie nicht Bestandteile des Eisens, sondern der dem Eisen beigemengten Schlacke bildeten, oder daſs sie bei der Untersuchung aus den benutzten Reagenzien oder den Filtern in die Lösungen geführt wurden[5]). Seitdem man jedoch im elektrischen Ofen reiche Siliciumeisenlegierungen darstellt, hat sich ergeben, daſs diese in der Tat befähigt sind, Calcium und Magnesium in um so reicheren Mengen aufzunehmen, je höher ihr Siliciumgehalt ist; z. B.

	I	II	III
Silicium	33,14	62,90	68,65
Kohlenstoff	0,29	0,33	1,08 (?)
Phosphor	0,05	0,01	0,08
Calcium	0,59	6,96	14,40
Magnesium	0,03	0,32	0,81.

Die Probe I ist im Eisenhüttenlaboratorium der Freiberger Bergakademie, die Proben II und III von Gray untersucht worden[6]).

Baryum und Strontium werden gleichfalls vom Eisen unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht aufgenommen. Sie sind noch nie im Eisen gefunden worden.

Kalium und Natrium sind zwar aus ihren Karbonaten durch Kohle reduzierbar, und daſs Kalium vom glühenden (nicht geschmolzenen) Eisen aufgenommen werden könne, wollen einige

---

[1]) Comptes rendus, Bd. 119 (1894), Seite 1172.

[2]) Versuche von Moissan und Charpy: Comptes rendus, Bd. 120 (1895), Seite 130; daraus in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 462.

[3]) Recherches physico-chimiques Bd. 1, Seite 106; daraus in Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1, Seite 414.

[4]) „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 712.

[5]) Manche Filtrierpapiere sind reich an Kalkerde, und mancher vermeintlich im Eisen gefundene Calciumgehalt entstammt unzweifelhaft dieser Quelle.

[6]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901, II, Seite 144.

Chemiker[1]) nachgewiesen haben; dennoch ist es bei der Flüchtigkeit beider Metalle in hoher Temperatur und der Schwierigkeit, kleine Mengen davon neben viel Eisen mit Sicherheit nachzuweisen, zweifelhaft, ob auch das geschmolzene Eisen Kalium oder Natrium enthalten kann. Fresenius will in einem Roheisen 0,06 v. H. Kalium neben Spuren Natrium gefunden haben; mir selbst ist es bei sorgfältiger Untersuchung nicht gelungen, auch nur Spuren davon nachzuweisen[2]). Jedenfalls sind die beiden Metalle bedeutungslos für das Verhalten des Eisens.

22. Eisen und Wasserstoff.

Eisen vermag unter verschiedenen Verhältnissen Wasserstoff aufzunehmen, ihn zu lösen, so dafs dieser wie jeder andere gelöste Bestandteil in dem flüssigen Eisen flüssig, in dem festen Eisen fest ist, und schon sehr kleine Gewichtsmengen solchen aufgenommenen Wasserstoffs beeinflussen deutlich das Verhalten des Eisens.

Beim Ausfällen von Eisen durch den galvanischen Strom aus einer mit Ammoniak neutralisierten Eisenchlorürlösung erhielt Cailletet[3]) glänzende Eisenflitterchen, welche so hart waren, dafs sie Glas ritzten. Die Untersuchung ergab einen Wasserstoffgehalt von 0,028 v. H. des Eisengewichts[4]). Beim Lagern in Wasser entwich Wasserstoff; heftige Gasentwicklung trat in erwärmtem Wasser (60—70° C.) ein; auch unter der Luftpumpe liefs sich dem Eisen ein grofser Teil seines Wasserstoffgehalts entziehen. Das vorher spröde Eisen wurde geschmeidig, wenn sein Wasserstoffgehalt ausgeschieden war. Die Richtigkeit dieser Beobachtungen wurde später auch durch Roberts-Austen bestätigt[5]). Er fand, dafs das wasserstoffhaltige Eisen, nachdem es bereits durch Erwärmung auf 70° C. des gröfsten Teils seines Wasserstoffgehalts beraubt worden war, fernerhin Wasserstoff abgab, wenn es im luftleeren Raume auf eine bis 1300° C. steigende Temperatur erhitzt wurde, und dafs auch die Lage der Haltepunkte bei der Abkühlung des Eisens (Seite 284) durch die Anwesenheit kleiner Mengen Wasserstoffs beeinflufst werde.

Behandelt man Eisen mit verdünnter Schwefelsäure oder Chlorwasserstoffsäure, wobei Wasserstoffentwicklung stattfindet, so

---

[1]) Gay-Lussac und Thénard; Calvert und Johnson. Näheres in Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. I, Seite 413.

[2]) „Stahl und Eisen" 1894, Seite 814.

[3]) Comptes rendus, Bd. 80, Seite 319.

[4]) Gewöhnlich findet man den Wasserstoffgehalt des Metalls nicht nach dem Gewichte, sondern nach dem Rauminhalte des gasförmigen Wasserstoffs angegeben. Man erhält hierbei weit gröfsere Zahlen; jene gefundenen 0,028 v. H. Wasserstoff nehmen im gasförmigen Zustande fast den 300fachen Rauminhalt des festen Eisens ein, mit dem sie vereinigt waren. Da der Wasserstoffgehalt jedoch in dem Eisen nicht als Gas, sondern in wirklicher Vereinigung zugegen ist, kann dieses Verfahren nicht gebilligt werden; es ist ebensowenig folgerichtig, als wenn man den Sauerstoffgehalt der Eisenoxyde, den Schwefelgehalt des schwefelhaltigen Eisens nach dem Rauminhalte, welchen der gasförmige Sauerstoff oder der dampfförmige Schwefel einnimmt, angeben wollte.

[5]) Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Februar 1899; daraus in „Stahl und Eisen" 1900, Seite 837.

vermag das Eisen ebenfalls Wasserstoff aufzunehmen, wie zuerst von Johnson[1]), später von Hughes[2]), Bädecker[3]) und mir[4]) beobachtet worden ist. Ich fand in derartig behandelten Eisendrähten 0,0021—0,0052 v. H. Wasserstoff. Durch diese Aufnahme von Wasserstoff verliert das Metall an Biegungsfähigkeit, es wird spröder. Der Einflufs ist deutlicher an dünnen als an dicken Gegenständen, deutlicher bei Stahl als bei Schmiedeeisen, am wenigsten bei Gufseisen bemerkbar. Federn aus Stahl, welche ungebeizt starke Biegsamkeit und Spannkraft besitzen, zerspringen unter der gleichen Beanspruchung wie zuvor, wenn sie mit jenen Säuren gebeizt wurden; Drähte, welche zahlreiche Biegungen ertrugen, zerbrechen nach dem Beizen bei einer der ersten Biegungen. Einige der erlangten Versuchsergebnisse werden in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde mitgeteilt werden. Läfst man solches Eisen längere Zeit an trockener Luft lagern, so nimmt es seine ursprünglichen Festigkeitseigenschaften wieder an; rascher läfst sich das gleiche Ziel durch Erhitzung der gebeizten Stücke erreichen. In beiden Fällen tritt der aufgenommene Wasserstoff in Gasform wieder aus.

Obgleich nun der im galvanisch erzeugten Eisen wie im gebeizten Eisen anwesende Wasserstoff beim Erhitzen des Eisens verschwindet, vermag doch nach Ermittlungen, welche durch Heyn ausgeführt wurden[5]), Eisen in Temperaturen zwischen 730 und 1000° wiederum Wasserstoff aufzunehmen, wenn es damit in Berührung gebracht wird. Läfst man nun solches Eisen langsam erkalten, so entläfst es in weniger hoher Temperatur wieder den aufgenommenen Wasserstoff; löscht man das Eisen plötzlich ab, so bleibt der Wasserstoff gebunden, und das Eisen wird spröde. Durch mäfsiges Erwärmen des so behandelten Eisens läfst sich der zurückgebliebene Wasserstoff austreiben, und das Eisen nimmt seine früheren Eigenschaften wieder an[6]).

Reichere Mengen Wasserstoff als glühendes Eisen vermag jedoch geschmolzenes Eisen in Lösung zu nehmen, wenn es mit ihm in dem Augenblicke, wo der Wasserstoff entsteht, in Berührung tritt[7]). Die Gelegenheit dazu ist häufig gegeben. Alle atmosphärische Luft, alle Verbrennungsgase enthalten Wasserdampf, welcher unter Wasserstoffbildung zerlegt wird, wenn er mit flüssigem Eisen oder mit weifsglühenden Kohlen zusammentrifft.

---

[1]) Proceedings Royal Society, Bd. 23, Seite 168 (1875).

[2]) Journal Society Telegraph Engineers 1880, Seite 163; auch Scientific American, Bd. 42, Seite 362.

[3]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, Seite 186.

[4]) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 681; 1889, Seite 745.

[5]) „Stahl und Eisen" 1900, Seite 837

[6]) Dafs nicht das Ablöschen an und für sich das Eisen spröde gemacht hatte, wurde durch Versuche erwiesen, bei welchen das Eisen im Stickstoff- oder Luftstrome geglüht und dann abgelöscht wurde. Es hatte jene Veränderung nicht erlitten.

[7]) Parry fand, dafs auch Wasserstoff, der nicht erst im Entstehungszustande sich befindet, von flüssigem Eisen gelöst werden könnte. (The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, Seite 92.) Dafs jedoch der entstehende Wasserstoff leichter und reichlicher vom Eisen aufgenommen werde als schon vorhandener, unterliegt keinem Zweifel.

Die Menge des Wasserstoffs, welche vom geschmolzenen Eisen gelöst werden kann, hängt von dem Gasdrucke, unter welchem das flüssige Metall sich befindet, und von der chemischen Zusammensetzung des Eisens ab. Leider sind die bisherigen Untersuchungen über diesen Einfluſs der chemischen Zusammensetzung des Eisens auf sein Lösungsvermögen für Wasserstoff spärlich, was sich zur Genüge aus der Schwierigkeit erklärt, mit welcher derartige Untersuchungen verknüpft sind. Ein reichlicher Mangangehalt erhöht den Beobachtungen im Betriebe zufolge die Löslichkeit des Wasserstoffs, Kohlenstoff verringert sie.

Wenn nun solches flüssige Eisen, welches im Schmelzofen Wasserstoff aufgenommen hatte, den Schmelzofen verläſst, so nimmt ein Teil des gelösten Wasserstoffs wieder Gasform an und entweicht teils infolge der stattfindenden Bewegung und der dabei stets erneuerten Berührung mit festen Körpern (den Wänden der Guſsrinne, Gieſspfanne u. a.), teils auch wegen der beginnenden Erstarrung und in einzelnen Fällen der Verminderung des auf dem Metalle lastenden Gasdrucks[1]). Solange das Eisen noch dünnflüssig ist, sieht man seine Oberfläche mit einer brennenden Gasschicht von geringer Leuchtkraft bedeckt; wird es dickflüssiger, so beginnt es Funken zu werfen, welche aus den vom entweichenden Gase emporgeschleuderten Metallteilchen bestehen. Durchläuft es, bevor es starr wird, einen teigartigen Zustand (schmiedbares Eisen), so bläht es sich, wenn seine Oberfläche frei liegt, stark auf; schlieſslich bilden sich, wenn das Austreten des aus dem Metalle entlassenen Gases nicht mehr möglich ist, Blasen in dem erstarrenden Metalle, teils mikroskopisch klein, teils von ansehnlicher Gröſse, welche mit dem Gase angefüllt sind. Müller fand, indem er durch Anbohren des Eisens unter ausgekochtem Wasser jenes eingeschlossene Gas befreite und sammelte, unter anderen nachstehende Zusammensetzung in Raumteilen:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wasserstoff. . . .	90,3	81,9	88,8	77,0	92,4	73,4	67,0	52,1	62,2
Stickstoff.	9,7	18,1	10,5	23,0	5,9	25,3	30,8	44,0	35,5
Kohlenoxyd. . . .	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	1,3	2,2	3,9	2,3

1. Bessemerschienenstahl.
2. Bessemerstahl zu Federn.
3. Bessemerschienenstahl vor Zusatz von Spiegeleisen.
4. Derselbe Stahl nach Zusatz von Spiegeleisen.
5. Dichter Stahl vor dem Schmieden.
6. Dichter Stahl nach dem Schmieden, wobei sich die Gasmenge verringert hatte.
7. Martineisen von Bochum.
8. Englisches Hämatitroheisen (manganarm).
9. Roheisen von Georgs-Marienhütte (manganhaltig).

[1]) Daſs Gase aus Flüssigkeiten, in welchen sie gelöst waren (z. B. Kohlensäure aus Wasser), leichter entweichen, wenn die Flüssigkeit in Bewegung gesetzt wird (z. B. durch Rühren), als wenn sie ruhig steht, läſst sich auch im gewöhnlichen Leben täglich beobachten, ebenso das Entweichen der Gase aus Flüssigkeiten bei der Berührung mit festen Körpern. An den Wänden eines mit kohlensäure-

Ähnliche Versuchsergebnisse erhielt Stead[1]). Auch für die Heftigkeit der Entwicklung von Wasserstoff aus dem flüssigen Metalle ist neben der Menge des überhaupt gelöst gewesenen Wasserstoffs zum Teil die chemische Zusammensetzung des Metalls von Bedeutung. Gewisse, in der dritten Abteilung (Eigenschaften des Flufseisens) besprochene Erscheinungen im Betriebe lassen z. B. schliefsen, dafs ein Siliciumgehalt des Eisens das Austreten des gelösten Wasserstoffs erschwere; bestimmte Ermittelungen hierüber fehlen.

Selbst das bereits starre, noch glühende Metall entläfst jedoch noch einen Teil des gelöst gebliebenen Wasserstoffgases. Den Beweis dafür liefert der Umstand, dafs jene von Müller und Stead durch Anbohren des Eisens befreiten Gase unter Druck eingeschlossen gewesen waren und nach dem Austreten einen gröfseren Raum einnahmen, als der Gröfse des Bohrlochs entsprach. Müller berechnete diesen Druck im erkalteten Eisen zu 3—8 Atmosphären; erwägt man aber, dafs die Gase in gewöhnlicher Temperatur nur ungefähr ein Fünftel des Raumes einnehmen als in der Erstarrungstemperatur des Eisens, so folgt, dafs statt des beobachteten Überdrucks eine Luftverdünnung geherrscht haben müfste, wenn die gefundenen Gase sämtlich aus dem flüssigen Metalle ausgetreten wären. Der entstandene Blasenraum würde entsprechend gröfser ausgefallen sein. Auch in geschlossenen engen Räumen, in welche gegossene, noch glühende Eisenblöcke eingestellt werden (Durchweichungsgruben; vergleiche dritte Abteilung), pflegen nach dem Herausnehmen der Blöcke reichliche Mengen von Wasserstoffgas anwesend zu sein. Pattinson und Stead[2]) fanden nachstehende Zusammensetzung solcher Gase in Raumteilen:

Stickstoff	62,92	69,65
Wasserstoff.	25,16	18,62
Kohlenoxyd	7,95	6,90
Kohlendioxyd	3,97	4,88
Sauerstoff	0,00	0,00.

Da Sauerstoff gänzlich fehlt, läfst sich folgern, dafs der Sauerstoffgehalt der in dem Raume eingeschlossen gewesenen Luft zunächst zur Verbrennung von austretendem Wasserstoff verbraucht worden und dafs demnach das Verhältnis des ursprünglich vorhandenen Wasserstoffs zu den übrigen Gasen noch beträchtlicher gewesen sei, als jene Ziffern angeben.

Auch eine von Finkener angestellte Untersuchung der Gase, welche der Höhlung eines eisernen, aus einem vollen Flufseisen-

---

haltigem Wasser gefüllten Glases, an einem eingebrachten Löffel sieht man die stärkste Gasentwicklung; bringt man aber einen Körper mit sehr grofser Oberfläche, z. B. ein Pulver, hinein, so kann die Gasentwicklung bis zum Überschäumen sich steigern. Ein solches Überschäumen tritt bekanntlich auch ein, wenn man eine mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllte Flasche rasch entkorkt und dadurch den auf der Flüssigkeit lastenden Druck stark vermindert.

[1]) Iron, Bd. 17, Seite 414.

[2]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1882 in „Stahl und Eisen" 1882, Seite 499.

blocke gewalzten und bis zur Vollendung an beiden Enden geschlossen gewesenen Mannesmann-Rohrs entnommen wurden, liefs darauf schliefsen; die Gase enthielten 99 v. H. Raumteile Wasserstoffgas [1]).

Aus dem Umstande, dafs ein grofser Mangangehalt die Aufnahme von Wasserstoff durch das geschmolzene Metall befördert, ein Kohlenstoffgehalt sie erschwert, ein Siliciumgehalt aber das Austreten des gelösten Wasserstoffs verhindert, erklärt sich, dafs graues manganarmes, aber siliciumreiches Roheisen nur geringe Mengen von Wasserstoff zu entwickeln pflegt, manganreiches Roheisen (Spiegeleisen) reichliche Mengen, und dafs auch das kohlenstoff- und siliciumarme Flufseisen starke Gasentwicklung zeigen kann. Jene Blasen im Innern des erstarrten Metalls aber, welche durch eingeschlossenes Gas gebildet werden, sind am stärksten beim Flufseisen bemerkbar, welches allmählich aus dem flüssigen Zustande in den festen Zustand übergeht, und in diesem teigigen Übergangszustande die Gasblasen zurückhält; häufig finden sie sich auch in dem verhältnismäfsig kohlenstoffarmen, seiner Zusammensetzung nach dem Stahle nahe stehenden Roheisen, welches ebenfalls einen dickflüssigen, breiartigen Zustand durchläuft, bevor es erstarrt; selten im silicium- oder manganreichen Roheisen, welches dünnflüssig bleibt, bis plötzlich die Erstarrung eintritt und hierdurch die Möglichkeit abgeschnitten wird, dafs Gasblasen sich bilden können.

Müller fand in verschiedenen Eisensorten folgende Gasmengen, auf den Rauminhalt des Eisens bezogen, aus dem sie durch Anbohren in der erwähnten Weise befreit worden waren [2]):

bei einem siliciumreichen, manganarmen Roheisen (englischem Hämatitroheisen) .	3,5 v. H.	von dem Rauminhalte des Eisens.
bei verschiedenen manganreicheren Roheisensorten (Bessemerroheisen)	10—35 „ „	
bei verschiedenen Sorten Flufseisens und Flufsstahls (vom Bessemer- und Martinverfahren) ungeschmiedet	14—60 „ „	
bei geschmiedetem Flufsstahl, welcher im ungeschmiedeten Zustande in zwei Proben 14 und 17 Hundertteile Gas ergeben hatte	5,5 „ „	

In allen Fällen bestand das Gasgemisch vorzugsweise aus Wasserstoff neben geringeren Mengen Stickstoffs und bisweilen Kohlenoxyds [3]).

Troost und Hautefeuille, welche Eisenzylinder von je 500 g Gewicht bei einer Temperatur von 800° C. im luftleeren Raume 190 Stunden lang glühten, um ihnen die eingeschlossenen Gase zu entziehen [4]), erhielten

---

[1]) Mitteilungen der königlichen technischen Versuchsanstalt zu Berlin 1899, Seite 41; daraus in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 335.

[2]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Bd. 23, Seite 493; „Stahl und Eisen" 1882, Seite 537.

[3]) Über die Zusammensetzung der aus verschiedenen Sorten flüssigen Roheisens entwichenen Gase und deren Menge vergleiche „Stahl und Eisen" 1904, Seite 25 (Münker).

[4]) Comptes rendus, Bd. 76, Seite 482 und 565.

aus manganreichem, siliciumarmem Roheisen (Spiegeleisen) 29,5 cc Gas mit 27 cc Wasserstoff;
aus manganärmerem, siliciumreicherem Roheisen (Holzkohlengufseisen) 16,7 cc Gas mit 12,8 cc Wasserstoff;
aus geschmiedetem Tiegelstahl dagegen nur 2,20 cc Gas mit 0,50 cc Wasserstoff.

Beim Schmieden des Stahls ist das in Hohlräumen eingeschlossen gewesene Gas offenbar entwichen.

Dafs aber von jenem Wasserstoffgehalte, welchen das flüssige Eisen in Lösung nimmt, und welcher teils vor dem Erstarren, teils noch während des Glühens entweicht, ein gewisser Teil auch im erkalteten Eisen in gebundener Form — gelöst oder legiert — zurückbleiben kann, ist wahrscheinlich. Einer genauen Ermittelung dieses Wasserstoffgehalts steht die Schwierigkeit gegenüber, den etwa in mikroskopisch kleinen Blasenräumen noch eingeschlossen gewesenen, also bereits gasförmig gewordenen Wasserstoff von dem gebundenen Wasserstoffe zu trennen. Bei Untersuchung sehr fein zerteilter Proben durch Verbrennung im trockenen Sauerstoffstrome fand ich einen Wasserstoffgehalt von 0,0017—0,0028 v. H. des Eisengewichts [1]); ob aber nicht auch dieser Wasserstoff bereits gasförmig eingeschlossen war, läfst sich nicht mit Bestimmtheit behaupten.

23. Eisen und Stickstoff.

Dafs unter gewissen Verhältnissen das Eisen Stickstoff aufnehmen könne, unterliegt nach den darüber angestellten Versuchen keinem Zweifel. Beim Erwärmen metallischen Eisens in Ammoniakgas nimmt es, wie früher Savart und Desprez [2]) fanden und später Buff [3]) bestätigte, an Gewicht bis zu 11 v. H. zu, während das spezifische Gewicht sich verringert und das Eisen spröde wird. In allen diesen Fällen wurde Stickstoff im Eisen gefunden, während nach Frémys Untersuchungen Wasserstoff nicht mit gelöst wird [4]).

Einer eingehenden Untersuchung wurde solches stickstoffreiche Eisen, welches auch durch mäfsiges Erhitzen von Eisenchlorür im Ammoniakstrome sich darstellen läfst, durch Stahlschmidt unterzogen [5]). Er erhielt ein Eisen mit durchschnittlich 11,1 v. H. Stickstoff und schliefst, dafs hier eine engere chemische Verbindung Fe_4N vorliege. Bei stärkerer Erhitzung im Wasserstoff-, Luft- oder selbst im Ammoniakstrome dagegen wird das Stickstoffeisen zersetzt und der Stickstoff ausgetrieben.

Mitunter läfst sich beim Durchbrechen gröfserer Eisenstücke, insbesondere des Flufseisens, entweichendes Ammoniakgas wahrnehmen, teils durch den Geruch, teils auch durch Anwendung chemischer Mittel, woraus sich schliefsen läfst, dafs hier Stickstoff und Wasserstoff nebeneinander anwesend gewesen waren [6]). Da

1) „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 591.
2) Annales de chimie et de physique, Bd. 42, Seite 122.
3) Liebigs Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. 88, Seite 375.
4) Annales de chimie et de physique, Bd. 83, Seite 375.
5) Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, Bd. 125, Seite 37.
6) Mehrere solcher Beobachtungen sind in Howe, Metallurgy of Steel, Seite 113 zusammengestellt.

aber Ammoniak durch Eisen in der Wärme zerlegt wird, ist anzunehmen, dafs die Vereinigung erst im erkalteten Eisen stattgefunden habe.

In früherer Zeit glaubte man häufig reichliche Mengen Stickstoffs im gewerblich dargestellten Eisen gefunden zu haben[1]), und man schrieb diesem Stickstoffgehalte besondere Einwirkungen zu. Spätere Untersuchungen von Rammelsberg[2]), Allen[3]), Harbord und Twynam[4]), Hjalmar Braune[5]) und anderen haben jedoch dargetan, dafs die Gewichtsmenge des im gewöhnlichen Eisen vorkommenden Stickstoffs nur gering sein kann.

Allen fand z. B. bei Untersuchung verschiedener Eisensorten folgende Stickstoffgehalte:

im dünnen Eisendraht	0,0128 v. H.
„ Eisen zu Panzerplatten	0,0131 „ „
„ Siemens-Martinstahl mit 0,22 v. H. Kohle	0,0107 „ „
„ Tiegelstahl mit 1,80 v. H. Kohle	0,0172 „ „
„ Spiegeleisen mit 3,80 v. H. Kohle und 20 v. H. Mangan	0,0041 „ „

Ähnliche Ergebnisse erhielten die übrigen genannten Forscher.

Dafs geschmolzenes Eisen neben Wasserstoff auch gewisse Mengen Stickstoff zu lösen vermag und beim Erstarren wieder in Gasform entläfst, ergibt sich aus den auf Seite 385 mitgeteilten Analysen der in Hohlräumen des erkalteten Eisens gefundenen Gase. Es ist ferner den vorliegenden Untersuchungen gemäfs nicht zu bezweifeln, dafs ein Teil des gelösten Gases auch im erkalteten Eisen gebunden bleiben könne; auch die erwähnte Ammoniakbildung läfst hierauf schliefsen. Beim einfachen Glühen des Eisens (ohne Schmelzung) im reinen und trocknen Stickstoffstrome wird dagegen, soweit meine eigenen Beobachtungen reichen, kein Stickstoff aufgenommen. Auch Stahlschmidt fand bei den oben erwähnten Untersuchungen keine Spur aufgenommenen Stickstoffs, als er Eisen im trockenen Stickstoffstrome glühte.

Um den Einflufs eines im Eisen gebundenen Stickstoffgehalts kennen zu lernen, stellte Hjalmar Braune bei seinen schon erwähnten Versuchen Proben mit 0,015—0,120 v. H. Stickstoff dar, indem er Stäbe eines tunlichst reinen Schweifseisens im trocknen Ammoniakstrome erhitzte. Er fand:

dafs der elektrische Widerstand und der bleibende Magnetismus des Eisens durch den Stickstoffgehalt erhöht werde;

dafs die Zugfestigkeit zu- und die Zähigkeit abnehme, die Abnahme der Zähigkeit aber beträchtlicher sei als die Zunahme der Festigkeit. Deutlich merkbar war dieser Einflufs schon bei einem Stickstoffgehalte von 0,044 v. H.; z B.:

---

[1]) So z. B. wollte Schafhäutl im weifsen Roheisen 0,78 v. H., im Spiegeleisen sogar 1,90 v. H. Stickstoff gefunden haben (Philosophical Magazine 1840, Bd. 16, Seite 44).

[2]) Monatsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften 1862, Seite 692.

[3]) Iron, Bd. 16, Seite 132.

[4]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1896, II, Seite 161.

[5]) Hjalmar Braune, Eine schnelle Methode für die Bestimmung des Stickstoffgehalts im Eisen und Stahl. Inaugural-Dissertation, Basel 1905.

Stickstoffgehalt v. H.	Zugfestigkeit kg auf 1 qmm	Querschnitts-verringerung v. H.	Längenausdehnung v. H.
0,015	33,9	69	34,7
0,044	36,5	66	29,9
0,100	36,5	48	23,0
0,120	40,2	54	18,0

Das mechanische Verhalten des Eisens wird demnach durch Aufnahme von Stickstoff geschädigt.

24. Eisen und Kohlenoxyd.

Des Verhaltens des Eisens und der Eisenoxyde zum Kohlenoxyd, insbesondere bei der Benutzung des letzteren als Reduktionsmittel, ist bereits mehrfach gedacht worden.

Auf Seite 312 hat fernerhin jener eigentümliche Vorgang, das Zerfallen des Kohlenoxydes unter Ablagerung von Kohlenstoff bei der Berührung mit Eisenoxyden in einer Temperatur von ungefähr 400° C., Besprechung gefunden.

Dafs im flüssigen Eisen eine Bildung von Kohlenoxyd unter der Einwirkung von gelöstem Eisenoxydul auf den Kohlenstoffgehalt des Eisens stattfinden könne, wurde auf Seite 296 erwähnt. Die Erscheinungen, welche das austretende Kohlenoxydgas in solchen Fällen hervorruft, gleichen denen, welche durch entweichenden Wasserstoff veranlafst werden (Spratzen, Blasenbildung). Daher enthalten auch die aus Blasen des erstarrten Eisens entnommenen Gase häufig Kohlenoxyd neben Wasserstoff, wie die auf Seite 385 mitgeteilte Zusammensetzung solcher Gasgemenge erweist; noch reichlichere Mengen Kohlenoxyds findet man in den Gasen, welche aus dem noch flüssigen Metalle austreten[1]. Wird aber in einer Flüssigkeit, welche ein Gas gelöst enthält, ein zweites Gas entwickelt, so veranlafst dieses auch das erstere Gas zum rascheren Entweichen; daher hat diese Kohlenoxydbildung im flüssigen Eisen auch eine vermehrte Entwicklung von Wasserstoffgas zur Folge, sofern das Eisen wasserstoffhaltig war. Setzt man nun dem Eisen, welches Eisenoxydul und Kohlenstoff nebeneinander enthält, kohlenstoffhaltiges Eisenmangan zu, um das Eisenoxydul zu zerstören, so wirkt nicht allein der Mangangehalt des Zusatzes, sondern zum Teil auch der jetzt in reichlichem Überschusse anwesende Kohlenstoffgehalt auf das Eisenoxydul ein; die Folge ist eine zwar nur kurze Zeit andauernde, aber starke Entwicklung von Kohlenoxydgas, und das jetzt entweichende Gasgemenge zeigt einen gröfseren Kohlenoxydgehalt als vor dem Zusatze. Müller, dessen Untersuchungen über die Zusammensetzung der in dem erkalteten Metalle eingeschlossenen Gase oben erwähnt wurden, sammelte auch die aus dem noch flüssigen Metalle austretenden Gase

[1]) Es möge hier daran erinnert werden, dafs die in den Gasblasen gefundenen Gase zum sehr grofsen Teile erst nach dem Starrwerden des Metalls in die Blase eintraten, wie oben begründet wurde. Wenn das starre Metall überhaupt noch Kohlenoxyd entläfst, so ist dessen Menge jedenfalls nicht erheblich im Vergleich zu der des austretenden Wasserstoffs.

und fand dabei unter anderen nachstehend mitgeteilte Zusammensetzung[1]:

	CO	H	N	CO_2
	Raumteile			
Bessemerflufseisen vor Zusatz kohlenstoffhaltigen Eisenmangans	18,6	54,2	24,9	2,3
Bessemerflufseisen nach Zusatz	37,3	47,3	7,9	7,5
" " "	34,0	49,5	8,6	7,9
" " "	43,4	46,9	6,6	3,1
Sehr gasreiches Bessemerflufseisen nach Zusatz	38,4	51,0	2,2	8,4
Desgleichen	70,7	20,7	6,5	2,1
Thomasflufseisen vor Zusatz	8,8	71,9	18,1	2,0
" " "	27,3	43,5	26,2	3,0
" " "	35,0	38,4	22,5	4,1
Thomasflufseisen nach Zusatz	61,3	2,3	36,4	—
" " "	57,5	4,7	38,0	—
" " "	50,9	5,1	43,2	0,8
" " "	77,2	6,4	16,0	0,4
Martinflufseisen vor Zusatz	48,0	35,1	15,4	1,5
" " "	46,1	43,6	6,9	3,4

Der gefundene Kohlendioxydgehalt ist jedenfalls durch die Einwirkung kleiner Luftmengen, welche beim Auffangen der Gase sich nicht gänzlich abschliefsen liefsen, auf das austretende Kohlenoxyd entstanden.

Ob Kohlenoxyd im geschmolzenen Eisen sich lösen kann, um aus diesem unter gleichen Verhältnissen wie gelöst gewesener Wasserstoff und Stickstoff zu entweichen, ist bislang nicht erwiesen. Tatsache ist es, dafs auch Roheisen im flüssigen Zustande Kohlenoxyd neben Wasserstoff entläfst, obgleich hier die Anwesenheit von Eisenoxydul, welches eine Neubildung von Kohlenoxyd veranlassen könnte, nicht wahrscheinlich ist. Müller fand die aus geschmolzenem Roheisen austretenden Gase folgendermafsen zusammengesetzt:

	CO	H	N	CO_2
	Raumteile			
Graues Bessemerroheisen mit 3,69 v. H. Kohlenstoff, 1,68 v. H. Silicium, 1,98 v. H. Mangan	37,2	58,8	0,1	3,9
Spiegeleisen mit 4,18 v. H. Kohlenstoff, 0,25 v. H. Silicium, 7,37 v. H. Mangan	48,7	49,5	0,5	1,3
Thomasroheisen mit 3,10 v. H. Kohlenstoff, 0,20 v. H. Silicium, 0,74 v. H. Mangan, 3,02 v. H. Phosphor	39,6	46,8	10,0	3,6

Ähnliche Ergebnisse erhielt Münker[2]).

[1]) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 443.
[2]) „Stahl und Eisen" 1904, Seite 24.

Daſs dagegen in den Hohlräumen des erkalteten Roheisens ebenso wie in denen des erstarrten Fluſseisens das Wasserstoffgas bedeutend überwiegt, zeigen die auf Seite 385 mitgeteilten Analysen. Starres Metall entläſst zwar im glühenden Zustande noch Wasserstoff und Stickstoff, aber, wie schon erwähnt, nicht mehr Kohlenoxyd.

Wird Kohlenoxyd über metallisches Eisen geleitet, welches in niedriger Temperatur durch Wasserstoff reduziert war, so vermag es bei 45—80° C. mit dem Eisen eine flüchtige Verbindung einzugehen, welche jedoch in höherer Temperatur wieder zerfällt[1]). Für die Eisendarstellung hat dieser Vorgang keine wesentliche Bedeutung.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 1. Braunschweig 1891—1896.

Henry Marion Howe, The Metallurgy of Steel, Bd. 1. New-York 1890.

Hanns Freiherr von Jüptner, Grundzüge der Siderologie. Leipzig 1900—1904.

J. Lowthian Bell, Über die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen verchiedener Dimensionen. Frei übersetzt von P. Tunner. Leipzig 1870. (Enthält Mitteilungen über zahlreiche Versuche, die Reduktion der Eisenerze betreffend.)

J. Lowthian Bell, Principles of the Manufacture of Iron and Steel. London 1884.

H. Tholander, Experimentelle Untersuchungen über die Reduktion von Eisenerzen und die Wirkung der Röstung. Deutsch von J. v. Ehrenwerth. Wien 1878.

C. Schinz, Dokumente betreffend den Hochofen, Seite 64. Berlin 1868. (Reduktion der Eisenerze.)

H. Behrens, Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen. Hamburg 1894.

F. Osmond, Transformations du fer et du carbone dans les fers, les acier et les fontes blanches. Paris 1888.

E. Heyn, Die Metallographie im Dienste der Hüttenkunde. Freiberg 1903.

C. Benedicks, Recherches physiques et physico-chimiques sur l'acier au carbone. Upsala 1904.

b) Abhandlungen.

Über reines Eisen.

A. Sauveur, The influence of sudden cooling on nearly pure iron. Engineering and Mining Journal, Bd. 64, Seite 489.

A. Ledebur, Der Einfluſs des Ablöschens auf reines Eisen. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 668.

W. M. Hicks and L. T. O'Shea, On the production of pure iron by electrolysis. Extracted from the commemoration volume of the University College. Sheffield 1897.

F. Osmond, What is the inferior limit of the critical point A_2? The Metallographist, July 1899; in deutscher Bearbeitung in „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 988.

F. Osmond, Sur la crystallographie du fer. Annales des mines, Reihe 9, Bd. 17, Seite 110 (1900).

[1]) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1891, Seite 2248 (Mond und Quinke); Comptes rendus, Bd. 112, Seite 1343 (Berthelot).

F. Osmond et G. Cartaud, Sur la crystallographie du fer. Annales des mines, Reihe 9, Bd. 18, Seite 113 (1900).

Allgemeines über die Vereinigungen des Eisens. Mikrographie des Eisens im allgemeinen.

A. Ledebur, Über einige Saigerungserscheinungen. „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 634, 705.
H. Reuss, Über das Saigern von Bessemerstahl. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 634.
B. W. Cheever, The segregation of impurities in Bessemer steel ingots on cooling. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 13, Seite 167.
S. O. Arnolds und R. A. Hadfields Untersuchungen über den Einflufs der Bestandteile des Eisens auf seine Eigenschaften. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 477 aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1894, I, Seite 107 und 156.
A. Ledebur, Über den Kleingehalt des Eisens an verschiedenen Körpern. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 810.
H. v. Jüptner, Beiträge zur Lösungstheorie von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 506, 552, 616, 1039; 1900, Seite 878.
H. v. Jüptner, Zusammenhang der chemischen Zusammensetzung und des mikroskopischen Gefüges mit den physikalischen Eigenschaften von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 237, 278.
H. v. Jüptner, Eisen und Stahl vom Standpunkte der Phasenlehre. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 1205, 1269; 1901, Seite 795.
H. W. Bakhuis Roozeboom, Eisen und Stahl vom Standpunkte der Phasenlehre. Zeitschr. f. physikalische Chemie, Bd. 34, Seite 437.
O. Vogel, Meteoreisen und seine Beziehungen zum künstlichen Eisen. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 442.
A. Martens, Über die mikroskopische Untersuchung des Eisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, Seite 11.
A. Martens, Zur Mikrostruktur des Spiegeleisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, Seite 205, 481.
A. Martens, Über das mikroskopische Gefüge und die Kristallisation des Roheisens, speziell des grauen Roheisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, Seite 398.
A. Martens, Über die mikroskopische Untersuchung des Eisens. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1882, Seite 233.
A. Martens, Über das Kleingefüge des schmiedbaren Eisens. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 235.
A. Martens, Das mikroskopische Gefüge von Flufseisen in gegossenen Blöcken. Mitteilungen aus den Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1893, Seite 274.
A. Martens, Die Mikroskopie der Metalle auf dem Ingenieurkongrefs zu Chicago 1893. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 758.
H. C. Sorby, On the microscopical structure of iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, Seite 255.
F. Osmond, Méthode générale pour l'analyse micrographique des aciers au carbone. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, Mai 1895 (auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 954).
F. Osmond, Die Metallographie als Untersuchungsmethode. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 904.
S. Jordan, Rapports sur les titres de M. F. Osmond à la médaille Lavoisier. Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, Juillet 1897.
E. Heyn, Mikroskopische Untersuchungen von tiefgeätzten Eisenschliffen. Mitteilungen der königl. techn. Versuchsanstalten 1899, Seite 310.
E. Heyn, Einiges über das Kleingefüge des Eisens. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 709, 768.
E. Heyn, Überblick über den gegenwärtigen Stand der Metallographie. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, Seite 137.

E. Heyn, Die Umwandlung des Kleingefüges bei Eisen und Kupfer durch Formänderung im kalten Zustande und darauffolgendes Ausglühen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, Seite 433.
E. Heyn, Bericht über mikroskopische Untersuchungen von Eisenlegierungen. Verhandlungen des Vereins für Beförderung des Gewerbfleifses 1904, Seite 355.
H. Le Chatelier, La technique de la métallographie microscopique. Bulletin de la Société d'Encouragement 1900, Seite 365.
A. Carnot et E. Goutal, Recherches sur la constitution chimique des fontes et des aciers. Annales des mines, Reihe 9, Bd. 18, Seite 263.
Th. Andrews, Microscopic observations on naval accidents. Engineering, Bd. 78 (1904), Seite 755, 778, 810.

Über Eisen und Sauerstoff, Rosten, Reduktion der Eisenoxyde, Kohlenstoffablagerung.

P. C. Calvert, Sur l'oxydation du fer. Comptes rendus, Bd. 70, Seite 453; Dinglers polyt. Journal, Bd. 196, Seite 129.
A. Wagner, Über den Einflufs verschiedener Lösungen auf das Rosten des Eisens. Dinglers polyt. Journal, Bd. 218, Seite 70.
A. Mercier, Note sur l'altération du fer et de la fonte par les matières grasses dans les organes des machines soumis à l'action de la vapeur. Annales des mines, Reihe 7, Bd. 15, Seite 234.
R. Åkerman, Über das Rosten des Eisens. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 417; aus Jernkontorets Annaler 1862, Nr. 3.
W. Thörner, Über Ursache und Verhinderung der starken Oxydation des eisernen Eisenbahn-Oberbaus im Tunnel. „Stahl und Eisen" 1889, Seite 822.
F. Muck, Über Zerstörungserscheinungen an Kesselblech, verursacht durch Luftgehalt des Speisewassers. „Stahl und Eisen" 1888, Seite 837.
H. Otto, Verrostungsversuche mit Eisen- und Stahlblechen. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 561.
Dr. J. Treumann, Die Mittel zur Verhütung des Rostes. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 882, 940.
Zerstörung von Wasserleitungsröhren. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 133.
E. Heyn, Untersuchungen über den Angriff des Eisens durch Wasser. Mitteilungen aus den königl. techn. Versuchsanstalten 1900, Seite 38.
M. Rudeloff, Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit von Seildrähten gegen Rosten. Mitteilungen aus den königl. techn. Versuchsanstalten 1900, Seite 107.
M. Rudeloff, Vergleichende Untersuchungen von Schweifseisen und Flufseisen auf Widerstandsfähigkeit gegen Rosten. Mitteilungen aus den königl. techn. Versuchsanstalten 1902, Seite 83, im Auszuge in „Stahl und Eisen" 1903, Seite 384.
H. M. Howe, The relative corrosion of wrought iron, soft steel and nickel steel. Engineering and Mining Journal. Bd. 70 (1900), Seite 188.
Diegel, Das Verhalten einiger Metalle im Seewasser. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 567, 629.
F. Wüst, Veränderung des Gufseisens durch anhaltendes Glühen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1136.
A. Ledebur, Über den Sauerstoffgehalt des Flufseisens. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 376.
R. Åkerman, Die Reduktion von Eisenoxyden durch Kohlenstoff. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 149 (aus Jernkontorets Annaler).
Dr. Stammer, Über Reduktion durch Kohlenoxyd, namentlich des Eisens. Poggendorfs Annalen, Bd. 82, Seite 136; Dinglers polyt. Journal, Bd. 120, Seite 428.
J. L. Bell, Supplementary remarks on carbon impregnation by dissociation of carbonic oxide. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, I, Seite 43.
L. Gruner, Mémoire sur la dédoublement de l'oxyde de carbone

sous l'action combinée du fer métallique et des oxydes de ce métal. Annales de chimie et de physique, Reihe 4, Bd. 26, Seite 5.
A. Ledebur, Kohlenstoffausscheidung im Hochofen. Berg- und hüttenmännische Zeitung 1877, Seite 277.
R. Schenck und F. Zimmermann, Über die Spaltung des Kohlenoxyds und das Hochofengleichgewicht. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1903, Seite 1231.
E. Bauer und A. Glässner, Über die Einwirkung von Kohlenstoff, Kohlenoxyd und Kohlensäure auf das Eisen und seine Oxyde. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 556.
S. Wiborgh, Verfahren zur Bestimmung der Reduzierbarkeit der Eisenerze. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 804, 858.
F. Lürmann, Zerstörung von Hochofenschachtsteinen durch Kohlenstoffabscheidungen. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 168.

Über Eisen und Kohlenstoff. Mikrographie der Eisenkohlenstofflegierungen.

Roberts-Austen, Carburisation of iron by the diamond. The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, I, Seite 81.
W. Hempel, Über das Verhalten der verschiedenen Modifikationen des Kohlenstoffs gegen Eisen bei hoher Temperatur. Bericht der deutschen chemischen Gesellschaft. Jahrgang 18, Seite 998.
F. Abel, Carbon in steel. Engineering, Bd. 39, Seite 150, 200.
H. v. Jüptner, Arten des gebundenen Kohlenstoffs. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, Seite 212.
H. v. Jüptner, Über das Sättigungsvermögen des Eisens für Kohlenstoff. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, Seite 447.
H. v. Jüptner, Kohlenstoffformen im Eisen. Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge 1896, Seite 453 (auch als Sonderabdruck).
H. v. Jüptner, Die Bestimmung von Härtungs- und Karbidkohle und die verschiedenen Formen des gebundenen Kohlenstoffs. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 573.
F. Mylius, F. Foerster und G. Schöne, Das Karbid des geglühten Stahls. Zeitschrift für anorganische Chemie 1896, Seite 38.
Osmond et Werth, Théorie cellulaire des propriétés de l'acier. Annales des mines, Reihe 8, Bd. 8 (1885), Seite 5.
F. Osmond, Transformations du fer et du carbone dans les fers, les aciers et les fontes blanches. Paris 1888. Auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 364.
F. Osmond, Études métallurgiques. Annales des mines, Reihe 8, Bd. 14 (1888), Seite 5.
F. Osmond, On the signification of the critical points of iron and steel. The Metallographist, Oktober 1898.
F. Osmond, Contribution à la théorie des aciers rapides. Bulletin de la Société d'encouragement 1904, II, Seite 348.
Osmonds Studien über die Kohlung des Eisens durch Diamant. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1892, Seite 457.
J. A. Brinell, Über Texturveränderungen des Stahls bei Erhitzung und bei Abkühlung. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 611 (Mitteilungen über Karbid- und Härtungskohle).
E. J. Ball, On the changes in iron produced by thermal treatment. The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, I, Seite 85; 1891, I, Seite 103.
F. C. G. Müller, Grundzüge einer Theorie des Stahls. „Stahl und Eisen" 1888, Seite 291.
F. C. G. Müller, Die kritischen Punkte der Eisenlegierungen nach den Untersuchungen Osmonds. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 634.
E. Donath, Zur Chemie des Eisens. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1895, Seite 147.
G. Charpy, Sur la transformation produite dans le fer par une déformation permanente à froid. Comptes rendus Bd. 117 (1893), Seite 850.
G. Charpy, Sur la transformation allotropique du fer sous l'influence de la chaleur. Comptes rendus Bd. 118 (1894), Seite 418, 868.

G. Charpy, Sur le rôle des transformations du fer et du carbone dans le phénomène de la trempe. Comptes rendus Bd. 118 (1894), Seite 1258.

G. Charpy, Sur les températures de transformation des fers et des aciers. Comptes rendus Bd. 119 (1894), Seite 735.

G. Charpy, Sur la trempe de l'acier. Bulletin de la Société d'encouragement 1895, Seite 660; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 745.

G. Charpy et L. Grenet, Sur l'equilibre des systèmes fer-carbone. Bulletin de la Société d'encouragement 1902, I, Seite 399; frei bearbeitet in „Stahl und Eisen" 1902, Seite 813.

G. Charpy et L. Grenet, Études des transformations des aciers par la méthode dilatometrique. Comptes rendus Bd. 134, Seite 103.

G. Charpy et L. Grenet, Recherches sur la dilation des aciers aux températures élevées. Bulletin de la Société d'encouragement 1903, I, Seite 464.

A. Le Chatelier, Au sujet de la théorie de la trempe de l'acier. Comptes rendus Bd. 136, S. 664; daraus in „Stahl und Eisen" 1904, Seite 56.

H. Le Chatelier, Classification des constituants des aciers. Revue de métallurgie 1904, Seite 207.

E. H. Saniter, Carbon and iron. The Joural of the Iron and Steel Institute 1897, II, Seite 115; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1897, Seite 956.

E. H. Saniter, On allotropic iron and carbon. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898, I, Seite 206.

A. Stansfield, The present position of the solution theory of carburised iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899, II. Seite 169.

Sir Roberts-Austen, Fifth Report to the alloys research committee: steel. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1899, Seite 35.

Sir Roberts-Austen, On the heat-treatment of steel. Sixth Report to the alloys research committee. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1904.

E. Heyn, Die Theorie der Eisenkohlenstofflegierungen nach Osmond und Roberts-Austen. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 625.

E. Heyn, Labile und metastabile Gleichgewichte in Eisenkohlenstofflegierungen. Zeitschr. für Elektrochemie 1904, Seite 491.

F. Wüst und P. Schlösser, Der Einflufs von Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Schwefel und Phosphor auf die Bildung der Temperkohle im Eisen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1120.

C. Geiger, Beiträge zur Kenntnis der zwei Kohlenstoffformen im Eisen: „Temperkohle und Graphit". Dissertation, Stuttgart 1904.

A. Ledebur, Einige neuere Untersuchungen und Theorien über die Formen des Kohlenstoffs im Stahl und Eisen. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 373.

A. Ledebur, Über ein beachtenswertes Verhalten des Eisens und Stahls. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 447.

A. Ledebur, Über die Benennung der verschiedenen Kohlenstoffformen im Eisen. „Stahl und Eisen" 1888, Seite 742.

A. Ledebur, Neuere Untersuchungen über den Kohlenstoffgehalt Eisens. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 294.

A. Ledebur, Kohlenstoffformen und Stahlhärtung. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 436.

A. Ledebur, Neuere Arbeiten über das Glühfrischen und die Veränderungen der Kohlenstoffformen beim Glühen. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 628.

Über Eisen und Silicium.

W. Mrázek, Experimentelle Untersuchungen über Silicium und Mangan im Stahl. Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Bd. 20, Seite 406.

R. A. Hadfield, On alloys of iron and silicon. The Journal of the Iron and Steel Institute 1889, II, Seite 222; in freier Bearbeitung in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1000.

F. C. G. Müller, Untersuchungen über den Einfluſs des Siliciums auf die Beschaffenheit des Werkzeugstahls. „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 375.

Eisensiliciumverbindungen. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 796.

A. Ledebur, Über Bildung von Kieselsäure auf Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 582.

Th. Naske, Zur Kenntnis der Formen des Siliciums im Eisen. Chemikerzeitung 1903, Seite 481.

Th. Baker, On the influence of silicon on iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903, II, Seite 312; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 514.

L. Guillet, Aciers de silicium. Revue de métallurgie 1904, Seite 46.

A. Dupré, Explosions produced by ferro-silicon. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904, I, Seite 30.

Über Eisen und Phosphor.

C. Freese, Über die Verbindungen des Eisens mit dem Phosphor. Poggendorffs Annalen, Bd. 132, Seite 225.

G. Hilgenstock, Über das Verhalten des Phosphors im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 2.

G. Hilgenstock, Die Reduzierbarkeit des basischen Kalkphosphats. „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 719.

W. Cheever, Two conditions of phosphorus in iron. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 15, Seite 448; Bd. 16, S. 269.

L. Schneider, Die chemische Bindung des Phosphors im Roheisen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1886, Seite 736.

L. Schneider, Zu dem Einflusse der Phosphorverbindungen auf Eisen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1887, Seite 362.

H. v. Jüptner, Über die verschiedenen Arten des Vorkommens von Phosphor im Eisen und Stahl. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1894, Seite 208.

H. v. Jüptner, Der Einfluſs des Phosphors auf Kaltbruch. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 524.

J. E. Stead, Iron and phosphorus. The Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 60; in deutscher Bearbeitung in „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 6.

Über Eisen und Schwefel.

M. H. Caron, Études sur l'acier (Entschwefelung durch Mangan). Comptes rendus, Bd. 56, Seite 828; daraus Dinglers polyt. Journal, Bd. 168, Seite 380.

P. Tunner, Zur Abscheidung des Schwefels aus flüssigem Eisen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, Seite 205.

J. E. Stead, On the elimination of sulphur from iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1892, II, Seite 223; 1893, I, Seite 48.

J. E. Stead, Saniters Entschwefelungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 165.

E. H. Saniters Entschwefelungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 616.

G. Hilgenstock, Über das Schwefelabscheidungsverfahren. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 798.

G. Hilgenstock, Metallurgische Irrtümer. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 49.

G. Hilgenstock, Neuere Methoden zur Entschwefelung des Roheisens. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 455.

Th. Turner, On silicon and sulphur in cast-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, Seite 28; daraus in „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 580.

A. Ledebur, Über den Schwefel im Eisen. „Stahl und Eisen“ 1894. Seite 336.

F. E. Thompson, Über den Schwefel im Fluſseisen. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 413 (aus Iron Age 1896, Seite 810).

F. Stille, Verhalten des Schwefels bei der Flufseisenerzeugung. Aus Jernkontorets Annaler 1898 in „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 325.

E. D. Campbell, On the diffusion of sulphides through the steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II, Seite 80; daraus in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 960.

E. D. Campbell, On some further experiments on the diffusion of sulphide through steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903, II, Seite 338.

J. O. Arnold und A. M'William, Über die Wanderungsfähigkeit verschiedener Körper im Eisen. Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1899, I in „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 617.

F. Firmstone, Über das Verhalten magnesiareicher Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 967 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 24, Seite 498).

O. R. Forster, The relative desulphurizing effect of lime and magnesia in the blast-furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 29, Seite 562; daraus in „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 1203.

H. Le Chatelier et Ziegler, Sulfure de fer, ses propriétés et son état dans le fer fondu. Bulletin de la Société d'encouragement 1902, II, Seite 394.

J. O. Arnold and G. B. Waterhouse, On the influence of sulphur and manganese on steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903 I, Seite 136.

F. Wüst, Neue Beobachtungen über den Einflufs von Silicium und Kohlenstoff auf den Schwefel im Eisen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1128.

J. E. Stead, Sulphides and silicates of manganese in steel. The Iron and Steel Magazine, Febr. 1905, Seite 105.

Über Eisen und Mangan.

H. Wedding, Der Einflufs des Mangans auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses 1881, Seite 509.

R. A. Hadfield, On manganese steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, II, Seite 41.

J. D. Weeks, Hadfields Manganese Steel. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, 13, Seite 233; 15, Seite 461.

H. M. Howe, Manganstahl. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 993.

L. Guillet, Aciers au manganèse. Bulletin de la Société d'encouragement 1903, II, Seite 421; auszugweise in „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 281.

Über Eisen und Kupfer.

A. Wasum, Über den Einflufs von Schwefel und Kupfer auf den Stahl beim Verarbeiten desselben in der Wärme. „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 192.

Choubley, Über den Einflufs von Kupfer auf den Stahl. „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 374.

J. Ball and A. Wingham, On the influence of copper on the tensile strength. The Journal of the Iron and Steel Institute 1889, I, Seite 123.

J. E. Stead, The influence of copper on steel rails and plates. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901, I, Seite 59.

J. E. Stead, On the alloys of copper and iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901, II, Seite 104.

W. Lipin, Der Einflufs des Kupfers auf Eisen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 536, 583, 691, 692.

A. Ruhfus, Der Einflufs des Kupfers auf Eisen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 691.

Über Eisen und Nickel.

H. Riley, On alloys of nickel and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1889, I, Seite 45; daraus in „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 859.

Ph. Moulan, Le ferronickel. Revue universelle des mines, Reihe 3, Bd. 27 (1894), Seite 142; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 346.
Vogel, Eigenschaften des Nickelstahls. Zeitschrift d. Vereins deutscher Ingenieure 1895, Seite 1353; „Stahl und Eisen" 1895, Seite 718.
M. Rudeloff, Festigkeit der Nickeleisenlegierungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1896, Seite 65.
Verwendung von Nickelstahl. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 1020.
L. Babu, Résultats des essais sur les aciers au nickel. Annales des mines, Reihe 9, Bd. 15 (1899), Seite 428.
R. A. Hadfield, Alloys of iron and nickel. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Bd. 138, 4. Teil (1900).
A. W. Zdanowicz, Zur Metallurgie des Nickelstahls. „Stahl und Eisen 1901, Seite 753.
L. Dumas, Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs. Annales des mines, April bis Juni 1902; auch im Sonderabdruck Paris 1902.
Die Eigenschaften von Nickel-Eisen- und Nickel-Eisen-Kohlenstoff-Legierungen nach Versuchen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1287.

Über Eisen und Chrom.

Brustlein, On chrome pig-iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, Seite 770.
Busek, Bemerkungen über Ferrochrom und Chromstahl. „Stahl und Eisen" 1889, Seite 727.
Boussingault, Sur la production, la constitution et les propriétés des aciers chromés. Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Bd. 15, Seite 91.
R. A. Hadfield, Alloys of iron and chromium. The Journal of the Iron and Steel Institute 1892, II, Seite 49; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 14.
L. Babu, Influence de la teneur en chrome sur les aciers au nickel. Annales des mines, Reihe 9, Bd. 15, Seite 429.
L. Guillet, Les aciers au chrome. Revue de métallurgie 1904, Seite 155.

Über Eisen und Wolfram, Titan, Vanadium.

R. Åkerman, Die Beziehungen von Wolfram und Titan zum Eisen. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1876, Seite 326.
R. A. Hadfield, On alloys of iron and tungsten. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903, II, Seite 14; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1309.
A. J. Rossi, Die Metallurgie des Titans. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1903, Seite 183, 206, 220 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers 1902).
L. Guillet, Les aciers au titane. Revue de métallurgie 1904, Seite 506.
L. Guillet, Les aciers au vanadium. Revue de métallurgie 1904, Seite 524.
C. Vogel, Vanadinstahl. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 615.

Über Eisen und Arsen.

Pattinson and Stead, On the behaviour of arsenic in ores and metal. The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, Seite 171; daraus in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 537.
Harbord and Tucker, On the effect of arsenic on mild steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1888, I, Seite 183; daraus in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 577.
J. E. Stead, The effect of arsenic on steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1895, I, Seite 77; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 653.

Über Eisen und Zinn, Zink, Wismut.

G. H. Billings, Über die Eigenschaften der Verbindungen des Eisens mit anderen Metallen. Dinglers polytechn. Journal, Bd. 228, Seite 427.
Über den Einflufs eines Zinngehalts auf die Qualität von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 330.
Aug. Zugger, Über den Einflufs des Zinngehalts auf die Qualität von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 400.
L. Guillet, Les aciers à l'étain. Revue de métallurgie 1904, Seite 500.

Über Eisen und Aluminium, Calcium, Magnesium.

A. Hadfield, On Aluminium-Steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, Seite 161; auszugsweise in Dinglers polytechn. Journal, Bd. 280, Seite 209.
A. Borsig, Versuche über den Zusatz von Aluminium zum Roheisen. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 6.
T. W. Hogg, On the influence of aluminium upon the carbon in ferro-carbon-alloys. The Journal of the Iron and Steel Institute 1894, II, Seite 104; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 407.
G. Melland und H. Waldron, Über den Einflufs eines Aluminiumgehalts auf Gufseisen. Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1900, II, Seite 244; in „Stahl und Eisen" 1901, Seite 54.
G. Watson Gray, The presence of calcium in high grade ferrosilicon. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901, II, Seite 144.
A. Ledebur, Über einen Gehalt des Eisens an Calcium und Magnesium. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 710.

Über Eisen und Molybdän, Bor.

W. v. Lipin, Einige Eigenschaften des Molybdänstahls. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 571.
H. Moissan et G. Charpy, Sur l'acier au bore. Comptes rendus Bd. 120 (1895), Seite 130; daraus in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 462.
H. N. Warren, Boron-iron. Engineering and Mining Journal, Bd. 56, Seite 619.

Über den Wasserstoff-, Stickstoff- und Kohlenoxydgehalt des Eisens.

L. Cailletet, Recherches sur les gaz contenus dans la fonte et l'acier à l'état de fusion. Comptes rendus, Bd. 59, Seite 850; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 179, Seite 208.
L. Cailletet, Sur le fer hydrogéné. Comptes rendus, Bd. 80, Seite 319.
A. Ledebur, Über die Beizbrüchigkeit des Eisens. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 681; 1889, Seite 745.
J. Parry, Gases occluded in the pig-iron, steel and wrought-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1873, Seite 429.
J. Parry, The absorption of hydrogen by pig-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874, I, Seite 92.
L. Troost et P. Hautefeuille, Recherches sur la dissolution des gaz dans la fonte, l'acier et le fer. Comptes rendus, Bd. 76, Seite 482 und 565; daraus polytechn. Zentralblatt 1873, Seite 439; Dinglers polytechn. Journal, Bd. 208, Seite 331.
L. Troost et P. Hautefeuille, Sur la dissolution de l'hydrogène dans les métaux et la décomposition de l'eau par le fer. Comptes rendus, Bd. 80, Seite 788.
L. Troost et P. Hautefeuille, Sur les fontes manganésifères (Auflösung von Gasen in manganhaltigem Eisen). Comptes rendus, Bd. 80, Seite 909, polytech. Zentralblatt 1875, Seite 775.
F. C. G. Müller, Über die Ausscheidungen in Bessemergüssen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1879, Seite 494.

F. C. G. Müller, Über den Wasserstoff- und Stickstoffgehalt im Eisen und Stahl. Berichte der Deutschen chemischen Gesellschaft 1881, Seite 6.

F. C. G. Müller, Über die Gasausscheidungen in Stahlgüssen. „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 531.

F. C. G. Müller, Neue Experimentaluntersuchungen über den Gasgehalt von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen“ 1883. Seite 443.

A. Ledebur, Zur Theorie der Gasentwicklung im Flufseisen. „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 599.

E. Heyn, Eisen und Wasserstoff. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 837; 1901, Seite 913.

H. Wedding und Th. Fischer, Eisen und Wasserstoff. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1268

E. Münker, Über Gase im Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 23.

C. Stahlschmidt, Beiträge zur Kenntnis des Stickstoffeisens. Poggendorffs Annalen, Bd. 125, Seite 37.

A. H. Allen, Further experiments on the existence of nitrogen in iron and steel. Iron, Bd. 16, Seite 132.

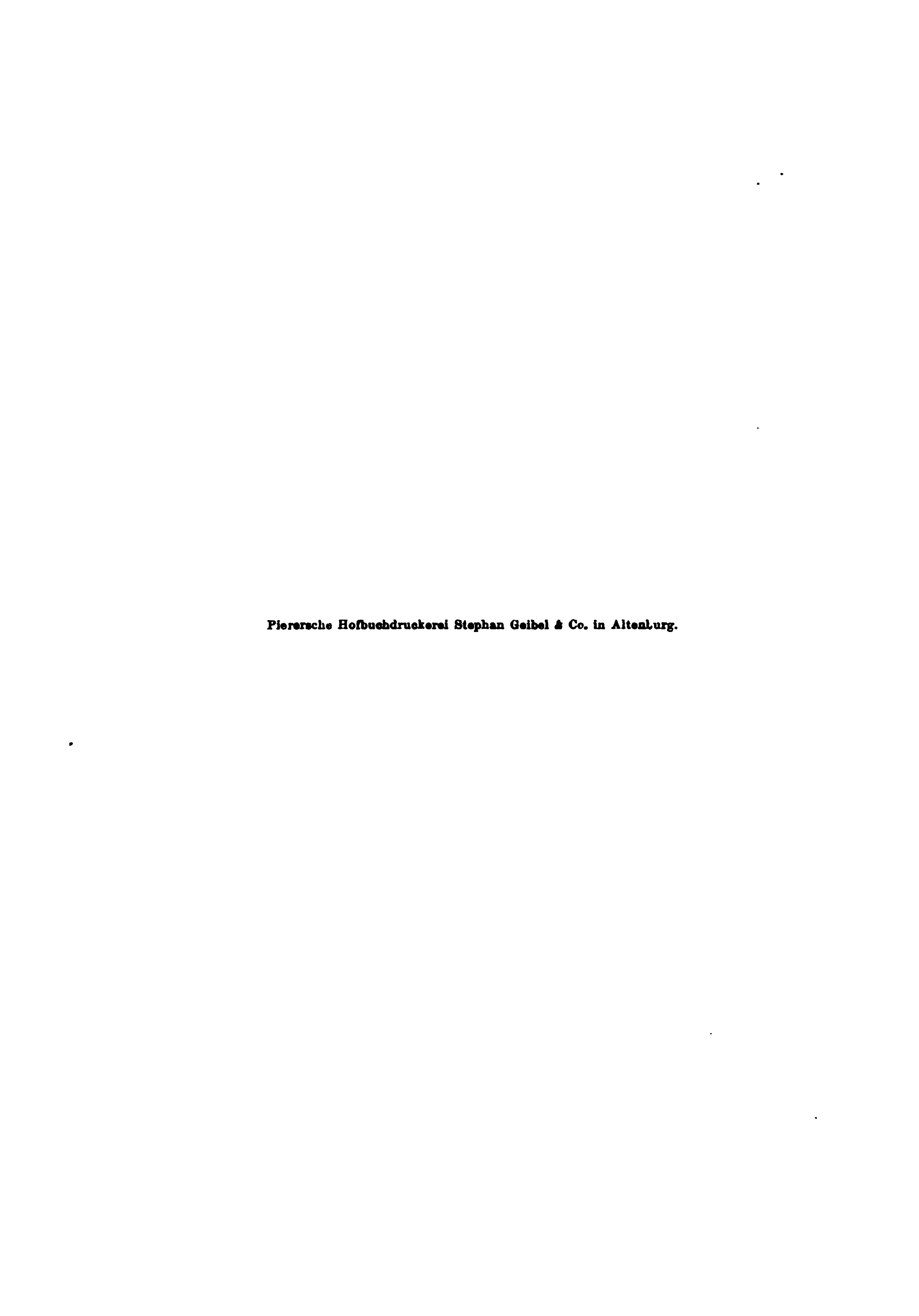
H. Tholander, Über den Stickstoffgehalt im Flufseisen. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 115.

G. J. Fowler, On the nitride of iron. Engineering and Mining Journal, Bd. 56, Seite 518.

F. W. Harbord and T. Twynam, On the presence of fixed nitrogen in steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1896, II, Seite 161.

Hjalmar Braune, Über eine schnelle Methode für die Bestimmung des Stickstoffgehalts im Eisen und Stahl (enthält Ergebnisse angestellter Untersuchungen). Dissertation. Basel 1905.

Th. Fleitmann, Über die Flüchtigkeit des Eisens und die Wanderfähigkeit seiner Atome beim Zusammenschweifsen mit Nickel. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 9.



Piererache Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Sachverzeichnis.

Druckfehlerberichtigung.

Seite 43, Zeile 14 v. o. lies Kohlendioxyd statt Kohlenoxyd.

ZIG.

gie.

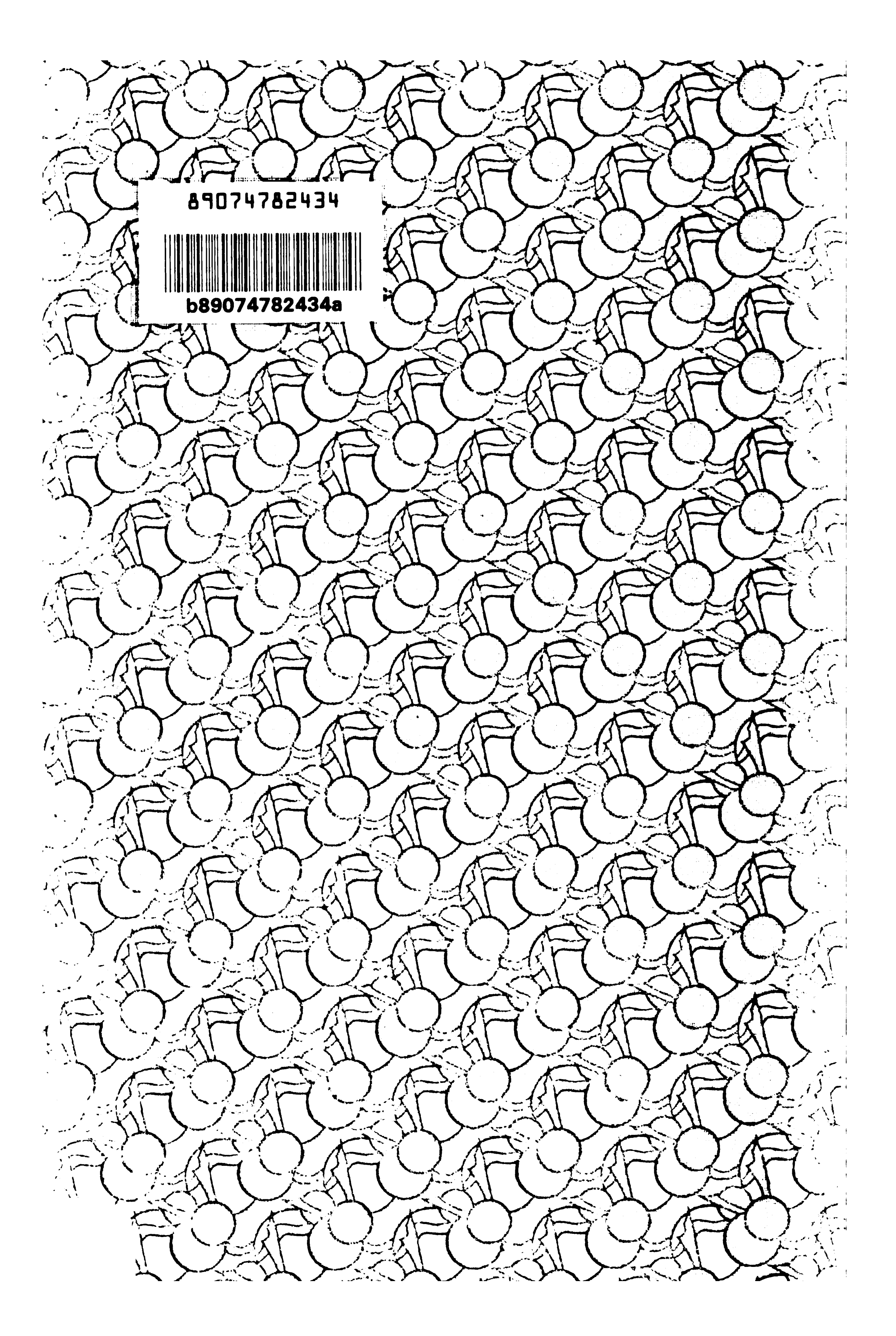
:t.

ı und

cher
und

'en

n




G.E.STECHERT
& CO.
NEW YORK